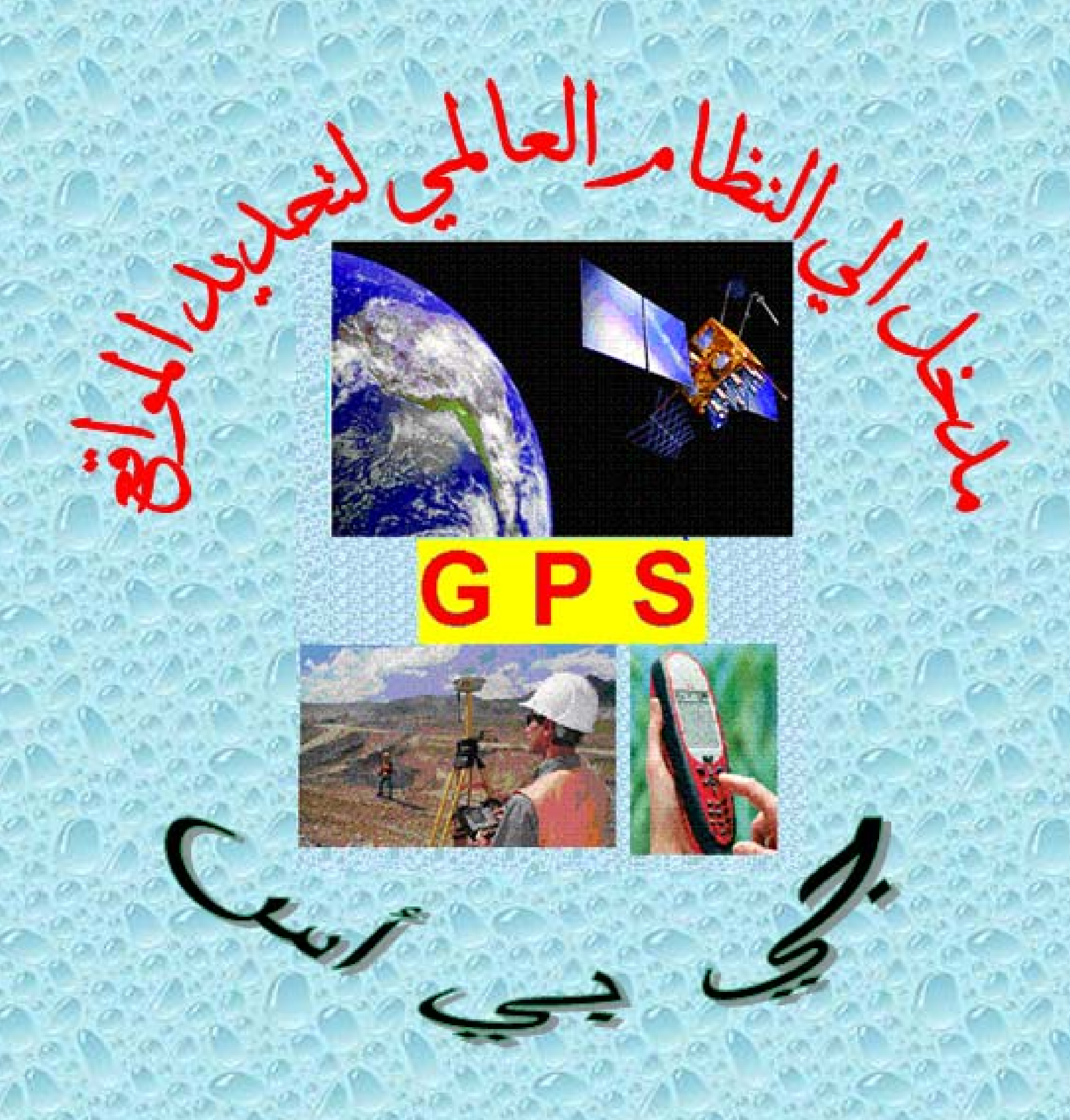



جمعة محمد داود

النسخة الأولي
٢٠١٠ م/ ١٤٣١هـ

# مدخل إلي النظام العالمي لتحديد المواقع
# الجي بي أس


## جمعة محمد داود



**النسخة الأولي**

**١٤٣١ هـ / ٢٠١٠م**

## اتفاقية الاستخدام



للإشارة إلي هذا الكتاب - كمرجع – برجاء إتباع النموذج التالي:

باللغة العربية:
داود ، جمعة محمد ، ٢٠١٠ ، مدخل إلي النظام العالمي لتحديد المواقع: الجي بي إس ، مكة المكرمة ، المملكة العربية السعودية ، ٢٤٣ صفحة.

باللغة الانجليزية:
Dawod, Gomaa M., 2010, An introduction to the Global Positioning System: GPS (in Arabic), Holly Makkah, Saudi Arabia, 243 pp.

## مقدمة النسخة الأولي

بسم الله الرحمن الرحيم و الحمد لله العليم القدير الذي وهبني علما ووفقني في حياتي ، والصلاة والسلام علي معلم الأمم و خير البرية محمد بن عبد الله عليه الصلاة و السلام.

أدعو و أبتهل إلي مولاي و خالقي عز و جل أن يتقبل مني هذا العمل لوجهه الكريم فما أردت إلا إرضاؤه تعالي وتحقيقا لقول رسوله الكريم أن عمل ابن ادم ينقطع بعد موته إلا من ثلاث أحدهم: علم ينتفع به.

أردت أن أقدم عملا باللغة العربية عن تقنية تحديد المواقع بنظام الجي بي أس حيث تكاد تخلو المكتبة العربية من كتب في هذا المجال إلا القليل منها. مع انتشار تطبيقات هذه التقنية في السنوات الأخيرة في مجالات متعددة زادت الحاجة لفهم أساسياتها و مبادئها و طرق الاستفادة منها بأسلوب علمي صحيح. إلا أن كتابا واحدا لن يكون شاملا لكل التفاصيل العلمية و الفنية لتقنية ذات مستوي عالي من آليات الرصد علي الأقمار الصناعية و التعامل مع قياسات عالية الدقة ، فلا يعد هذا الكتاب إلا مدخلا فقط للجي بي أس يناسب طلاب المرحلة الجامعية و مستخدمي الجي بي أس الذين لم يدرسوه قبل ذلك. وربما إن وهبني الله عز و جل عمرا و صحة أن أكمل هذا العمل في كتاب آخر أكثر تعمقا.

حاولت أن أقدم في الكتاب مستوي متوازن من الأساسيات العلمية و التفاصيل التطبيقية للجي بي أس. بعض الكتب تكاد تكون نظرية تماما بينما البعض الآخر يركز فقط علي التطبيقات و طرق التشغيل العملية ، وأعتقد أن لا هذا و لا ذاك يؤديان الغرض. فأي تقنية حديثة (مثل الجي بي أس و نظم المعلومات الجغرافية) تستلزم فهم المبادئ العلمية التي بنيت عليها بالإضافة لأساليب تطبيقها عمليا.

أدعو كل قارئ و كل مستفيد من هذا الكتاب أن يدعو الله تبارك و تعالي أن يغفر لي و لوالدي ، وأيضا ألا يحرمني من رأيه و تعليقاته وتصويباته - فلا يوجد كتاب إلا و به نواقص و أخطاء – سواء عبر البريد الالكتروني أو عبر منتدى الهندسة المساحية في: http://surveying.ahlamontada.com/ .

بسم الله الرحمن الرحيم ..... **وقل ربي زدني علما** .... صدق الله العظيم.

جمعة محمد داود
dawod_gomaa@yahoo.com

مكة المكرمة: محرم ١٤٣١ هـ الموافق يناير ٢٠١٠ م

## الإهداء

لي كل الشرف و الفخر وأنا أهدي هذا العمل لقامة من قامات العمل الجيوديسي العربي والذي تخرجت علي يديه أجيال عديدة من المهندسين .... إلي أستاذي الفاضل ... إلي أول من تعلمت علي يديه المساحة الجيوديسية ... إلي أبي الروحي:

# الأستاذ الدكتور أحمد عبد الستار شاكر

أستاذ المساحة و الجيوديسيا بقسم الهندسة المساحية بكلية الهندسة بشبرا – جامعة بنها ، القاهرة ، جمهورية مصر العربية.

أمد الله عمره وبارك فيه وأدام عليه الصحة و التوفيق.

# شكر و تقدير

أتوجه بخالص الشكر والتقدير إلي كل من ساعدني في إكمال هذا العمل وخاصة مراجعته فنيا قبل صدوره ، وأخص بالشكر:

الأستاذ الدكتور / **أحمد عبد الستار شاكر** أستاذ الهندسة المساحية بكلية الهندسة بشبرا جامعة بنها – مصر.

الأستاذ الدكتور / **عبد الله أحمد سعد** رئيس قسم الهندسة المساحية بكلية الهندسة بشبرا جامعة بنها – مصر.

الدكتورة مهندسة / **هدي فيصل محمد** بمعهد بحوث المساحة – المركز القومي لبحوث المياه بالقاهرة - مصر.

## الاختصارات و الرموز

| | |
|---|---|
| أحادي البعد | 1D |
| رباعي الأبعاد | 4D |
| ثلاثي الأبعاد | 3D |
| ثنائي الأبعاد | 2D |
| نصف المحور الأكبر للاليبسويد | a |
| مصفوفة المعاملات | A |
| نصف المحور الأصغر للاليبسويد | b |
| نقطة أرضية معلومة المنسوب | BM |
| معاملات التمثيل المتناسق | $C^{-}_{nm}$ , $S^{-}_{nm}$ |
| الشفرة المدنية الأولي لأقمار الجي بي أس | C/A code |
| الجي بي أس التفاضلي | DGPS |
| الوكالة العسكرية الأمريكية للخرائط (أصبحت NIMA الآن) | DMA |
| وزارة الدفاع الأمريكية | DoD |
| معامل الدقة | DOP |
| شذوذ الجاذبية (الفرق بين الجاذبية المقاسه و المحسوبة) | $\Delta g$ |
| عناصر النقل بين مرجعين جيوديسين | $\Delta$,X $\Delta$Y,$\Delta$Z |
| المركزية الأولي للاليبسويد | e |
| نظام مركزي أرضي ثابت | ECEF |
| النظام الملاحي الأوروبي الثابت | EGNOS |
| نموذج الجيويد العالمي ١٩٩٦ | EGM96 |
| نموذج الجيويد العالمي ٢٠٠٨ | EGM2008 |
| وكالة الفضاء الأوروبية | ESA |
| شركة أيزري الأمريكية لإنتاج برامج نظم المعلومات الجغرافية | ESRI |
| تفلطح الاليبسويد | f |
| دائرة العرض | $\phi$ |
| طور الإشارة الحاملة للموجه | $\Phi$ |
| الجاذبية النظرية علي الاليبسويد | $\gamma$ |
| معامل نيوتن للجاذبية الأرضية | G |
| معامل الدقة الهندسية (رباعية الأبعاد) | GDOP |
| النظم العالمية للملاحة بالأقمار الصناعية | GNSS |
| النظام العالمي لتحديد المواقع | GPS |
| الارتفاع الجيوديسي أو الاليبسويدي | h |
| الارتفاع الارثومتري أو المنسوب | H |
| معامل الدقة الأفقية | HDOP |

| | |
|---|---|
| المنظمة الدولية لخدمات النظم العالمية لتحديد المواقع بالأقمار الصناعية | IGS |
| الإطار الدولي المرجعي الأرضي | ITRF |
| خط الطول | $\lambda$ |
| طول الموجة | $\lambda'$ |
| متجه الأرصاد | L |
| التردد الأول لإشارات أقمار الجي بي أس | L1 |
| التردد الثاني لإشارات أقمار الجي بي أس | L2 |
| الشفرة المدنية الثانية لأقمار الجي بي أس | L2C code |
| التردد الثالث لإشارات أقمار الجي بي أس | L5 |
| الشفرة العسكرية الدقيقة الثانية لأقمار الجي بي أس | M code |
| نظام الازدياد الياباني متعدد الأغراض | MSAS |
| متوسط منسوب سطح البحر | MSL |
| حيود الجيويد | N |
| الغموض الصحيح | N' |
| وكالة الفضاء الأمريكية | NASA |
| هيئة المساحة الجيوديسية الأمريكية | NGS |
| أقصي درجة لنموذج جيويد عالمي | n, m |
| المرجع الجيوديسي المصري القديم لعام ١٩٠٧ | OED1907 |
| مصفوفة الأوزان | P |
| الشفرة العسكرية الدقيقة الأولي لأقمار الجي بي أس | P code |
| معامل الدقة ثلاثية الأبعاد | PDOP |
| جزء من المليون | ppm |
| الرصد المتحرك مع الحساب اللاحق | PPK |
| الخدمة الدقيقة أو العسكرية لتحديد المواقع باستخدام الجي بي أس | PPS |
| المسافة الكاذبة | PR |
| دالة لاجندر | $P_{nm}$ |
| نصف قطر الأرض المتوسط | R |
| الرصد المتحرك الآني | RTK |
| عناصر الدوران بين مرجعين جيوديسين | Rx, Ry, Rz |
| معامل القياس بين مرجعين جيوديسين | s |
| خطأ الاتاحية المنتقاة | SA |
| الخدمة المدنية أو القياسية لتحديد المواقع باستخدام الجي بي أس | SPS |
| دالة ستوكس | $S(\psi)$ |
| الاختبار الإحصائي تاو | $\tau$ |
| معامل الدقة الزمنية | TDOP |
| متجه المتبقيات | V |

| | |
|---|---|
| متجه المتبقيات المضبوطة | $V^{\wedge}$ |
| معامل الدقة الرأسية | VDOP |
| نظام الازدياد الأمريكي العسكري | WAGE |
| نظام الازدياد الأمريكي للمناطق الشاسعة | WASS |
| النظام الجيوديسي العالمي ١٩٧٢ | WGS72 |
| النظام الجيوديسي العالمي ١٩٨٤ | WGS84 |
| متجه القيم المضبوطة | $X^{\wedge}$ |
| الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية | X, Y, Z |
| الانحراف المعياري | $\sigma$ |
| تقدير معامل التباين | $\sigma^{\wedge}{}_{o}^{2}$ |
| المسافة الدائرية بين نقطة الحساب والنقطة المقاس عندها الجاذبية | $\psi$ |

# المحتويات

## قائمة الأشكال

## قائمة الجداول

# الفصل الأول
# الأقمار الصناعية و تطبيقاتها في تحديد المواقع

## ١-١ مقدمة:

منذ أن خلق الله سبحانه و تعالي الإنسان وأنزله إلي الأرض كان التنقل من مكان إلي آخر والتعرف علي مواقع جديدة غريزة داخل النفس البشرية ، ومن هنا بدأت حاجة البشر لوسائل تمكنهم من السفر و الترحال بأمان دون أن يتيهوا في الصحراء و البيئة المحيطة. تمكن الإنسان في البداية أن يتخذ بعض الأماكن و الأجسام الأرضية الخاصة – مثل الجبال – كعلامات تمكنه من معرفة طريقه بالإضافة إلي مساعدة نهارية من الشمس و الظل ، وبالتالي أستطاع أن يسافر لعدة كيلومترات ويعود لموقعه الأصلي مرة أخري. ومن ذلك الوقت ظهر في القاموس البشري مصطلح جديد ألا و هو الملاحة Navigation وهي العملية التي بواسطتها يتنقل الإنسان بين موقعين والتي تساعده في معرفة موقعه في أي وقت[١]. وفي المرحلة الثانية من المعرفة البشرية بدأ الاعتماد علي النجوم كعلامات مرجعية تمكن الإنسان من معرفة موقعه و اتجاهه أثناء السفر ليلا ، ومن ثم بدأ علم الفلك Astronomy . وعرفت الحضارات القديمة إقامة الفنارات Lighthouses منذ حوالي ألفي عام – و أشهرهم فنار الإسكندرية في مصر و فنار جزيرة رودس اليونانية - كعلامات ملاحية تعكس الضوء سواء ضوء الشمس نهارا أو ضوء مصدر آخر ليلا لإرشاد السفن المبحرة في البحار[٢].

## ١-٢ المساحة و الجيوديسيا:

لاحقا بدأ الإنسان في تسجيل ملاحظاته الملاحية والطرق التي يسير فيها ومواقع تحركاته المتعددة في البيئة المحيطة به علي قطع من الورق (ورق البردي في الحضارة المصرية القديمة كمثال) لتظهر للوجود "الخرائط" Maps. وبالتزامن مع ظهور الخرائط بدأ ظهور علم المساحة Surveying وهو علم تحديد المواقع – بأبعاد ثلاثة – للمعالم الطبيعية و البشرية علي أو تحت سطح الأرض. وتعد مصر أول من استخدم علم المساحة بصورة موسعة منذ حوالي ١٤٠٠ عام قبل الميلاد وذلك في تحديد الملكيات الزراعية وحساب الضرائب المستحقة عليها[٣]. وفي المرحلة العلمية التالية تطور علم جديد ليكون أكثر تخصصا وتعمقا في عملية تحديد المواقع ألا و هو علم الجيوديسيا (أو الجيوديزيا) Geodesy والذي يعرفه هلمرت علي أنه: علم قياس و رسم سطح الأرض ، شاملا تعيين حقل الجاذبية الأرضية و أيضا تحديد أرضية المحيطات[٤]. إن كلمة جيوديسيا كلمة يونانية الأصل تتكون من مقطعين: جيو بمعني الأرض ، ديسيا بمعني القياس أي أن الكلمة تعني العلم المعني و المهتم بدراسة الأرض من حيث الشكل و القياس[٥]. ومن ثم أصبحت المساحة الجيوديسية Geodetic Surveying أحد

---

[1] Kaplan, E. and Hegarty, C., 2006, Understanding GPS: Principles and applications, Second Edition, Artech House, Inc., Boston, USA.

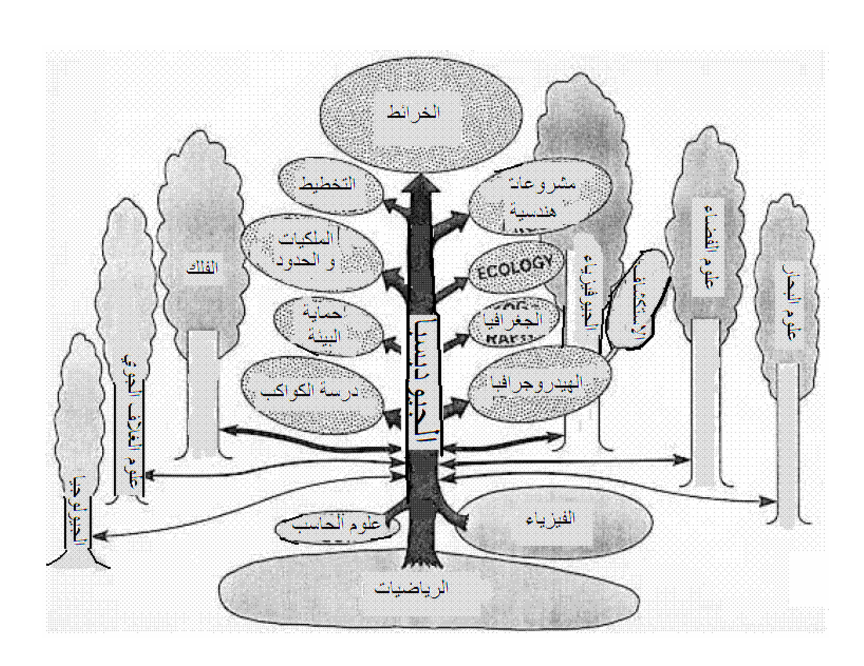
[2] Prasad, R. and Ruggieri, M., 2005, Applied satellite navigation using GPS, Galileo and augmentation systems, Artech House, Inc., Boston, USA.

[3] عبد العزيز ، يوسف إبراهيم و الحسيني ، محمد صفوت ، ٢٠٠٧ ، المساحة ، دار المعرفة للنشر و التوزيع ، القاهرة ، مصر.

[4] Seeber, G., 2003, Satellite Geodesy, Second Edition, Walter de Gruyter Co., Berlin, Germany

[5] المؤسسة العامة للتعليم الفني و التدريب المهني ، ١٤٢٦ هـ ، نظام تحديد المواقع العالمي ، مقرر دراسي لطلاب الكليات التقنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.

مكونات علوم الهندسة المساحية والتي نحتاج إليها عندما نتعامل – قياسا أو رسما – مع مناطق كبيرة من سطح الأرض حيث لا يمكن إهمال تأثير كروية الأرض( مثلما الحال في فرع المساحة المستوية Plan Surveying عند قياس و رسم مساحات صغيرة من سطح الأرض و نفترض للتسهيل أن الأرض يمكن تمثيلها كسطح مستوي في هذه المنطقة الصغيرة) [٦]. ويرتبط علم الجيوديسيا ارتباطا وثيقا بعدد كبير من العلوم الاخري كما هو موضح في الشكل ١-١[٧].




**شكل ١-١**
**العلاقة بين علم الجيوديسيا والعلوم الأخرى**

من أولي بدايات التفكير الإنساني في معرفة شكل و حجم الأرض تلك التجربة الرائدة التي قام بها العالم الإغريقي أراتوستين Eratosthens (٢٧٦-١٩٦ ق.م) والذي كان يشغل منصب أمين مكتبة الإسكندرية التي كانت تعتبر أرقي معهد علمي في العالم في ذلك الوقت[٨]. لاحظ أراتوستين أن الشمس قي يوم ٢١ يونيو (حزيران) من كل عام تكون مرئية في مياه بئر بمدينة أسوان ، أي أنها تكون عمودية تماما في هذا الموقع ، وبعد ذلك أفترض أن الإسكندرية تقع إلي الشمال مباشرة من أسوان. ثم قام بقياس زاوية ميل أشعة الشمس عند الإسكندرية ووجدها ٧.٢ درجة ، وقدر أن هذا الجزء – بين الإسكندرية و أسوان – يعادل ١/٥٠ من الدائرة التي تمثل الأرض (شكل ١-٢ [٩]). وبعد ذلك قام بقياس المسافة بين كلا المدينتين فكانت حوالي ٥٠٠٠ أستاديا (وحدة قياس المسافات في ذلك الوقت) أي ما يعادل ٥٠٠ ميل أو ٨٠٠ كيلومتر، ومن ثم

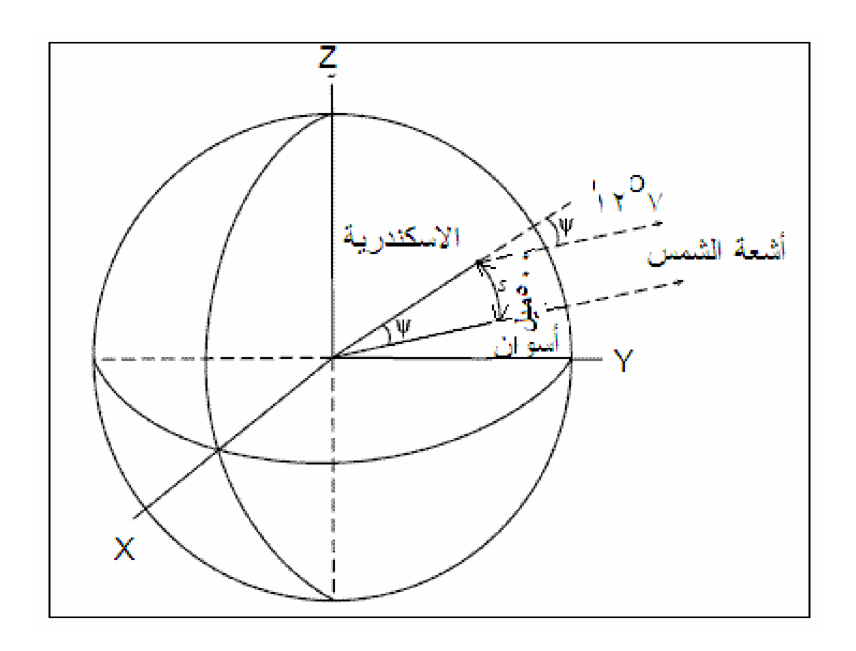
[6] تعيلب ، علي عبد العظيم ، ١٩٩٧ ، الجيوديسيا ، المعهد القومي للبحوث الفلكية و الجيوفيزيقية ، حلوان، مصر.

[7] Vanicek, P., 2001, An online tutorial in Geodesy, http://gge.unb.ca/Research/GeodesyGroup/tutorial/tutorial.htm .

[8] أبو راضي ، فتحي عبد العزيز ، ١٩٩٨ ، الجغرافيا العملية و مبادئ الخرائط ، دار النهضة الحديثة ، بيروت ، لبنان.

[9] Jekeli, C., 2006, Geodetic reference systems in geodesy, Lecture notes, Division of geodesy and geospatial science, School of Earth sciences, Ohio State University, Columbus, Ohio, USA.

تمكن هذا العالم من حساب محيط الأرض (٥٠ ضعف المسافة المقاسه بين أسوان و الإسكندرية) ليكون في تقديره حوالي ٢٥٠٠٠ ميلا. ومن المذهل أن نعرف أن هذه التجربة الجيوديسية في ذلك الزمن البعيد و باستخدام آلات بدائية لم تكن بعيدة إلا قليلا عن طول محيط الأرض الذي نعرفه اليوم وهو ٢٤٩٠١ ميلا[10].




شكل ١-٢
تجربة العالم أراتوستين لتقدير محيط الأرض

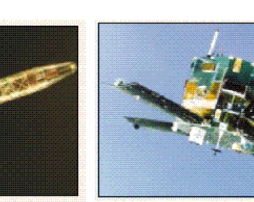
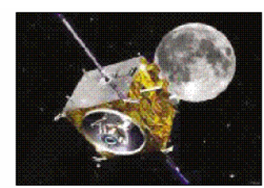
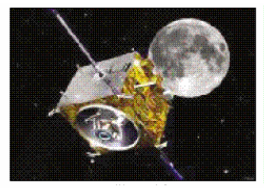
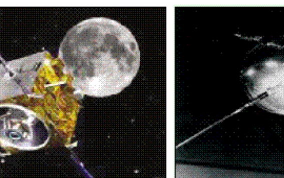
**١-٣ الأقمار الصناعية:**

مع بداية النصف الثاني من القرن العشرين الميلادي دخلت المعرفة البشرية منعطفا تقنيا جديدا حيث أستطاع الإنسان أن يرسل أجساما معدنية إلي خارج نطاق الغلاف الجوي لكوكب الأرض ، وهي الأجسام التي أصطلح علي تسميتها بالأقمار الصناعية Satellites (شكل ١-٣). يعد إطلاق القمر الصناعي الروسي الأول "سبوتنيك-١ Sputbik-1" في ٤ أكتوبر ١٩٥٧ هو إعلان دخول الإنسان لعصر الأقمار الصناعية[11]. هذا و قد بدأ إطلاق الأقمار الصناعية و غزو الفضاء – بصفة عامة – بعد أن تطورت عدة تقنيات و خاصة الصواريخ و الرادار ، فالصاروخ هو الوسيلة لإيصال القمر الصناعي إلي الفضاء (كان أول صاروخ يطلق للفضاء بواسطة فريق علماء ألمان بقيادة براون في عام ١٩٣٤) و الرادار مهم لتعقب القمر و معرفة موقعه ، كما ساهم التطور في الحاسبات الآلية و أنظمة الاتصالات في الإسراع بالدخول إلي عصر الفضاء[12].

[10] US Defense Mapping Agency: DMA, 1959, Geodesy for the layman, First edition, Available at: http://164.214.2.259/GandG/geolay/toc.htm

[11] Seeber, G., 2003, Satellite Geodesy, Second Edition, Walter de Gruyter Co., Berlin, Germany

[12] الصقير ، عبد العزيز ، ١٤٢٧ هـ ، الأقمار الصناعية ، مجلة العلوم و التقنية ، العدد ٨٠ ، ص ٥-٩.

**شكل ١-٣**
**بعض الأقمار الصناعية**

يمكن تقسيم الأقمار الصناعية – بصفة عامة – إلي ثلاثة مجموعات أو أنواع:

أ- أقمار صناعية ملاحية Navigation Satellites يكون هدفها الأساسي تقديم تقنيات ووسائل دقيقة لعمليات الملاحة بين موقعين (سواء الملاحة الأرضية أو البحرية أو الجوية أو حتى الملاحة الفضائية) ، وتأتي في هذه المجموعة من الأقمار الصناعية نظم أو تقنيات مثل نظام الجي بي أس GPS و نظام جاليليو Galileo و نظام دوبلر Doppler و نظام جلوناس GLONASS.

ب- أقمار صناعية للاتصالات Communication Satellites وهي أقمار تساعد في نقل البيانات (مثل البث الإذاعي و التلفزيوني) وتوزيعها علي أجزاء كبيرة من سطح الأرض لتتغلب علي مشكلة كروية الأرض التي تعيق النقل المباشر الأرضي لهذه البيانات. ومن أمثلة هذه النوعية من الأقمار الصناعية: النيل سات و العرب سات المستخدمين في البث التلفزيوني.

ت- أقمار صناعية لدراسة موارد الأرض Earth Resources Satellites ومنها أقمار صناعية خاصة بدراسة البحار و أخري خاصة بدراسة الطقس و ثالثة مخصصة للتصوير الفضائي أو ما يعرف الآن بأقمار الاستشعار عن بعد Remote Sensing Satellites.

## ١-٤ تحديد المواقع بالاعتماد علي الأقمار الصناعية:

قبل بدء عصر الأقمار الصناعية توصل العلماء إلي طريقة جديدة لتحديد المواقع بالاعتماد علي الموجات الرادوية أو الكهرومغناطيسية ، وكان المبدأ الأساسي في هذه الطريقة هو قياس الزمن الذي تستغرقه الموجه الرادوية في الرحلة ذهابا و عودة بين محطة البث أو الإرسال Transmitting Station وجهاز الاستقبال Receiver. فإذا استخدمنا القاعدة العلمية المعروفة:

المسافة = السرعة × الزمن (١-١)

وباعتبار أن سرعة الموجة تعادل سرعة الضوء (حوالي ٣٠٠ ألف كيلومتر في الثانية) فيمكننا حساب المسافة بين محطة الإرسال و جهاز المستقبل. لكن يتبادر إلي الأذهان السؤال التالي: كيف يمكن لهذه الفكرة - أو هذه المسافة التي يمكن حسابها – أن تستخدم في تحديد موقع شخص معين؟ الإجابة سهلة و تتكون من[١٣] (شكل ١-٤):

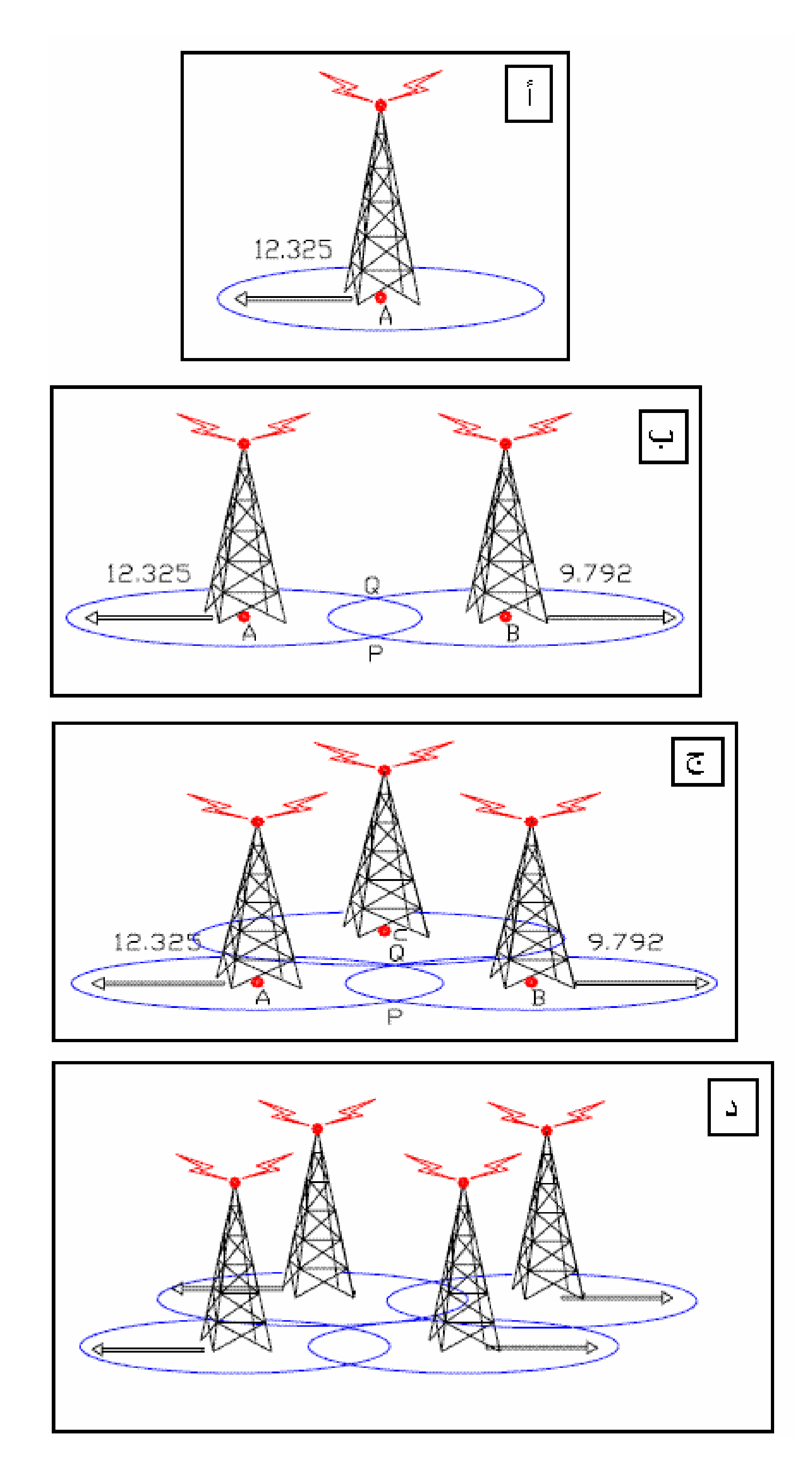
13 الربيش ، محمد بن حجيلان ، ١٤٢٠ هـ ، النظام الكوني لتحديد المواقع ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.

نفترض أن برج إرسال قد تم وضعه فوق نقطة معلومة الموقع ولتكن نقطة A علي سطح الأرض ، ونحن لدينا وحدة أو جهاز استقبال لهذه الموجات الرادوية في موقع ما غير معلوم. عند فتح جهاز الاستقبال وقياس (أو حساب) المسافة بين هذا الموقع المجهول و المحطة أو البرج عند A وجدنا أنها تساوي ١٢.٣٢٥ متر مثلا. إن هذه المعلومة (شكل ١-٣ أ) لا تخبرنا أين موقعنا بالضبط ولكنها تقرب موقعنا إلي أي نقطة علي محيط الدائرة التي نصف قطرها يساوي ١٢.٣٢٥ متر حول برج الإرسال A (وهو البرج المعلوم موقعه مسبقا).

الآن نفترض أننا قمنا بتثبيت برج إرسال ثاني فوق نقطة معلومة أيضا ولتكن B علي سطح الأرض ، و بنفس الطريقة قمنا بحساب (أو قياس) المسافة بواسطة جهاز استقبال الموجات الرادوية فكانت تساوي ٩.٧٩٢ متر.هذه المعلومة الجديدة تخبرنا أيضا أننا نقع علي محيط دائرة مركزها نقطة B ونصف قطرها يساوي ٧.٧٩٢ متر. أي أننا موجودين علي بعد ١٢.٣٢٥ متر من نقطة A وأيضا علي بعد ٩.٧٩٢ متر من نقطة B. وهذا يؤدي بنا أننا نقع عند تقاطع هاتين الدائرتين ، أما عند نقطة P أو عند نقطة Q (شكل ١-٣ ب). أي أننا نستخلص أن وجود برجين إرسال يمكننا من تحديد احتمال موقع من موقعين ، ولا يخبرنا بالضبط أين نحن.

نحتاج الآن لبرج إرسال ثالث يتم وضعه عند نقطة معلومة و لتكن C علي سطح الأرض ، و بنفس الطريقة نقوم بحساب (أو قياس) المسافة بواسطة جهاز استقبال الموجات الرادوية. هذه المسافة الثالثة ستخبرنا بكل تأكيد هل نحن عند النقطة P أو عند النقطة Q (شكل ١-٣ ج).

فإذا كانت الأبراج أو محطات الإرسال الثلاثة تعمل باستمرار وفي نفس الوقت ، فأن أي جهاز استقبال لهذه الموجات الرادوية سيستقبل الإشارات المرسلة من المحطات الثلاثة و يمكنه بسرعة تحديد موقعه في هذه اللحظة. فإذا كان جهاز الاستقبال هذا متحركا (أي موجود علي سفينة مثلا) فأنه باستطاعته تحديد موقعه باستمرار عند كل لحظة في مسيرته. فإذا أضفنا برج إرسال رابع فأن هذه المنظومة ستكون ذات كفاءة عالية لان البرج الرابع سيكون حكما للوثوق في إشارات الأبراج الثلاثة الأساسية كما أنه سيكون احتياطيا في حالة عدم استقبال الإشارات من أيا من الأبراج الثلاثة (شكل ١-٣ د). وتسمي هذه الطريقة لتحديد المواقع بنظم الملاحة الرادوية Radio Navigation Systems.

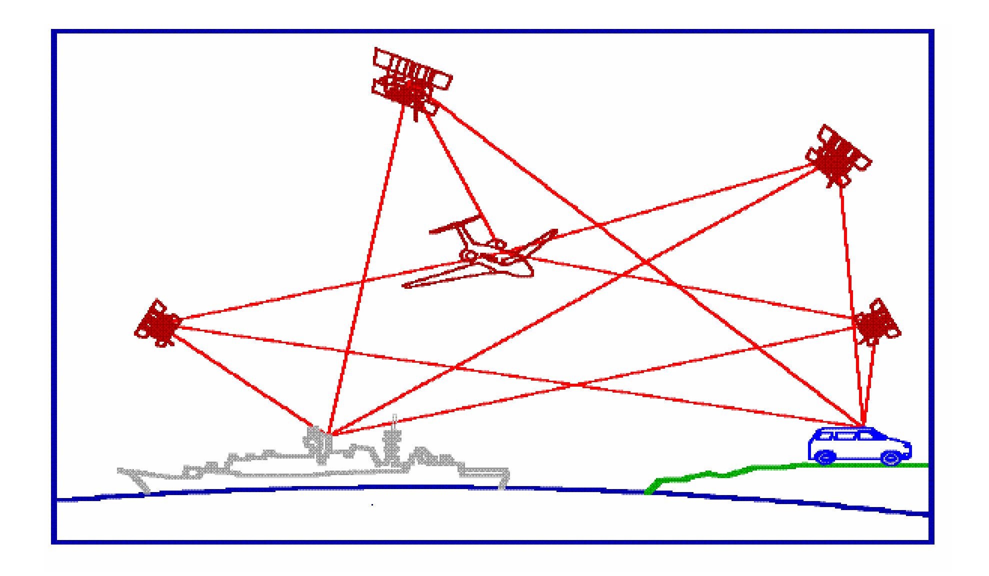



**شكل ١-٤**
**الملاحة الرادوية و تحديد المواقع**

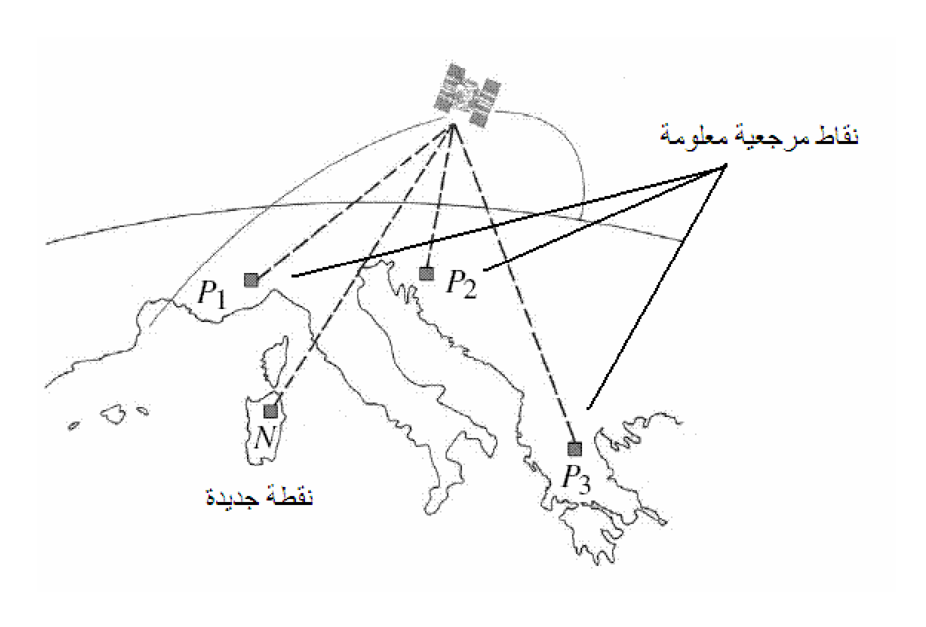
ومن أمثلة هذه النظم الرادوية لتحديد المواقع نظام لوران LORAN وهو اختصارا لاسم "الملاحة للمساحات الشاسعة LOng RAnge Navigation" والذي بدأ في الولايات المتحدة الأمريكية تقريبا في عام ١٩٥٠ ويهدف أساسا لمساعدة السفن في إبحارها. تكون نظام لوران من عدد من السلاسل (السلسلة مكونة من ٤ أبراج إرسال تغطي كل محطة أو برج حوالي ٥٠٠ ميل) ليمكن تغطية الساحل الغربي الأمريكي كله. لكن هذه النظم الملاحية كان لها بعض العيوب أو المعوقات مثل: (١) أي نظام سيكون ذو تغطية محدودة تبلغ حوالي ٥% من سطح الأرض وبالتالي فلن يصلح ليكون نظام ملاحة عالمي ، (٢) يستطيع هذا النظام تحديد المواقع في اتجاهين فقط – أي الموقع الأفقي – لكنه لا يمكنه تحديد الارتفاع في الاتجاه الرأسي ، (٣) دقة النظام كانت في حدود ٢٥٠ متر والتي قد يمكن اعتبارها مناسبة للملاحة البحرية لكنها غير مناسبة للملاحة الجوية – للطائرات – أو لطرق المساحة الأرضية التي تتطلب دقة أعلي في تحديد المواقع.

مع ظهور الأقمار الصناعية طبق العلماء نفس مبدأ الملاحة الرادوية في تطوير ما عرف باسم الملاحة بالأقمار الصناعية Satellite Navigation. فإذا استبدلنا محطات الإرسال الأرضية بأقمار صناعية ترسل موجات رادوية يستطيع جهاز الاستقبال أن يتعامل معها ويحسب المسافة من موقعه إلي موقع كل قمر صناعي فيمكن تحديد الموقع الذي به هذا المستقبل. ربما يتبادر إلي الأذهان الآن سؤال: أبراج الإرسال كانت ثابتة و معلومة الموقع وكنا نستخدمها كعلامات مرجعية Reference Points تمكننا من حساب موقع جهاز الاستقبال ، لكن الأقمار الصناعية غير ثابتة فكيف سيمكن التعامل معها؟ الإجابة هي أن كل قمر صناعي يكون معلوم المدار الذي يدور عليه في الفضاء وتكون من أهم مهام الجهة المسئولة عن نظام الأقمار الصناعية أن تراقب كل قمر و تحدد موقعه بكل دقة في كل لحظة ، وبالتالي فيمكننا القول أن موقع كل قمر صناعي يكون معلوما في أي لحظة طوال ٢٤ ساعة يوميا ، أي أن كل قمر صناعي سيكون بمثابة نقطة مرجعية (شكل ١-٥). وطبقا لهذا المبدأ الأساسي فيمكن اعتبار القمر الصناعي – من وجهة النظر المساحية – علي أنه هدف Target عالي الارتفاع ، بحيث إذا أمكن رصده من ثلاثة نقاط أرضية معلومة الإحداثيات فيمكن تحديد موقع نقطة مجهولة ترصد هذا القمر الصناعي في نفس اللحظة [١٤] (شكل ١-٦).

[14] Seeber, G., 2003, Satellite Geodesy, Second Edition, Walter de Gruyter Co., Berlin, Germany



**شكل ١-٥**
**الملاحة بالأقمار الصناعية**




**شكل ١-٦**
**المبدأ المساحي للملاحة بالأقمار الصناعية**

تطورت نظم الملاحة بالأقمار الصناعية مع إطلاق نظام الملاحة الأمريكي Navy Navigation Satellite System الذي عرف باسم ترانزيت Transit وأيضا باسم نظام دوبلر Doppler - في الستينات من القرن العشرين الميلادي، وكان الهدف الرئيسي منه تحديد مواقع القطع البحرية في البحار و المحيطات والمعرفة الدقيقة لإحداثيات المواقع الإستراتيجية. وبالرغم من هذه الأهداف العسكرية إلا أن المهندسين المدنيين قد استخدموا هذا النظام في العديد من التطبيقات المساحية وخاصة إنشاء شبكات الثوابت الأرضية الدقيقة. أعتمد نظام الدوبلر علي عدد من الأقمار الصناعية التي تدور علي ارتفاع حوالي ١٠٠٠ كيلومتر من سطح الأرض حيث يكمل كل قمر دورة كاملة حول الأرض في مدة تبلغ ١٠٧ دقيقة وكانت دقة تحديد المواقع الأرضية اعتمادا علي هذا النظام في حدود ٣٠-٤٠ متر[١٥]. ومع أن أقمار الدوبلر تغطي معظم أنحاء الأرض إلا أن عددها (٦ أقمار صناعية فقط) لم يكن يسمح يتواصل الإشارات طوال ٢٤ ساعة يوميا – بل لعدة ساعات طبقا للموقع المطلوب علي الأرض – مما لم يلبي حاجة مستخدمي النظام سواء العسكريين أو المدنيين وأدي ذلك إلي بدء وزارة الدفاع الأمريكية - مع بداية السبعينات - في تطوير نظام ملاحي آخر.

### ١-٥ جيوديسيا الأقمار الصناعية:

مع إطلاق أول قمر صناعي في عام ١٩٥٧ بدأ ظهور مصطلح لفرع جديد من علم الجيوديسيا (علم القياس علي سطح الأرض لتحديد شكلها و حجمها ومجال جاذبيتها) وهو جيوديسيا الأقمار الصناعية Satellite Geodesy. إلا أن أساسيات هذا التخصص الهندسي الجديد ترجع جذورها إلي ما هو أبعد من هذا التاريخ ، فمنذ بداية القرن التاسع عشر الميلادي كانت هناك دراسات عديدة لاستخدام القمر – الطبيعي و ليس الصناعي – في حساب بعض القيم الهندسية التي تصف شكل الأرض. فعلي سبيل المثال قام العالم الفرنسي لابلاس Laplace في عام ١٨٠٢ بحساب قيمة تفلطح سطح الأرض Earth Flattening اعتمادا علي دراسة حركة القمر. وطوال قرن و نصف توالت الدراسات الجيوديسية لتقيم أسسا علمية جيوديسية انطلقت تطبيقاتها سريعا بمجرد إطلاق أول قمر صناعي ، ويكفي أن نشير إلي أن بعد مرور عام واحد فقط من إطلاق أول قمر صناعي تمكن الجيوديسين في عام ١٩٥٨ من حساب قيمة أكثر دقة لتفلطح الأرض اعتمادا علي قياسات هذا القمر الصناعي. وتتعدد تطبيقات تخصص جيوديسيا الأقمار الصناعية لتشمل العديد من المجالات العلمية المدنية منها [١٦]:

<u>الجيوديسيا العالمية:</u>

- تحديد شكل و مجال جاذبية الأرض.
- تحديد أقرب النماذج الرياضية لشكل الأرض الحقيقي.
- إنشاء نظام جيوديسي أرضي مرجعي Global terrestrial reference frame.
- تطوير نماذج الجيويد الدقيقة (أنظر تعريف الجيويد في الفصل القادم).
- الربط بين العديد من المراجع الجيوديسية المستخدمة حول العالم.

<u>الثوابت الجيوديسية:</u>

---

15 المؤسسة العامة للتعليم الفني و التدريب المهني ، ١٤٢٦ هـ ، النظام الكوني لتحديد المواقع ، مقرر دراسي لطلاب المعاهد الثانوية الفنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.

16 Seeber, G., 2003, Satellite Geodesy, Second Edition, Walter de Gruyter Co., Berlin, Germany

- إنشاء نقاط شبكات جيوديسية مرجعية.
- إنشاء شبكات جيوديسية ثلاثية الأبعاد.
- الربط بين العديد من الشبكات الجيوديسية المتباعدة.
- دراسة حركة القشرة الأرضية.

المساحة المستوية و التطبيقية:

- إجراء المسح التفصيلي للظواهر الطبيعية و البشرية لتطبيقات حصر الملكيات و تخطيط المدن و إقامة المشروعات المدنية وتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية Geographic Information Systems (GIS).
- إقامة ثوابت أرضية لعمليات التصوير الجوي وضبط مرئيات الاستشعار عن بعد.
- إدارة الموارد الطبيعية بصفة عامة و الموارد المائية بصفة خاصة [17].
- الرفع الطبوغرافي و إنشاء الخرائط الكنتورية لمشروعات التنمية الوطنية [18].
- تحديد إحداثيات أجهزة التصوير داخل الطائرات.

الملاحة الجيوديسية:

- زيادة دقة الملاحة سواء البرية أو البحرية أو الجوية.
- تحديد المواقع بدقة لتطبيقات الخرائط البحرية و استكشاف الموارد الطبيعية والمساحة البحرية والجيولوجيا.
- ضبط العلاقات بين محطات قياس المد و الجزر Tide gauges (توحيد نظم قياس الارتفاعات).
- تحديد مواقع القياسات الجيوفيزيقية (مثل مواقع قياس الجاذبية الأرضية والمسح المغناطيسي) سواء علي البر أو في البحر.
- تحديد اتجاه و معدل حركة الكتل الجليدية عند كلا القطبين.
- تحديد مدارات الأقمار الصناعية ذاتها بمختلف أنواعها.

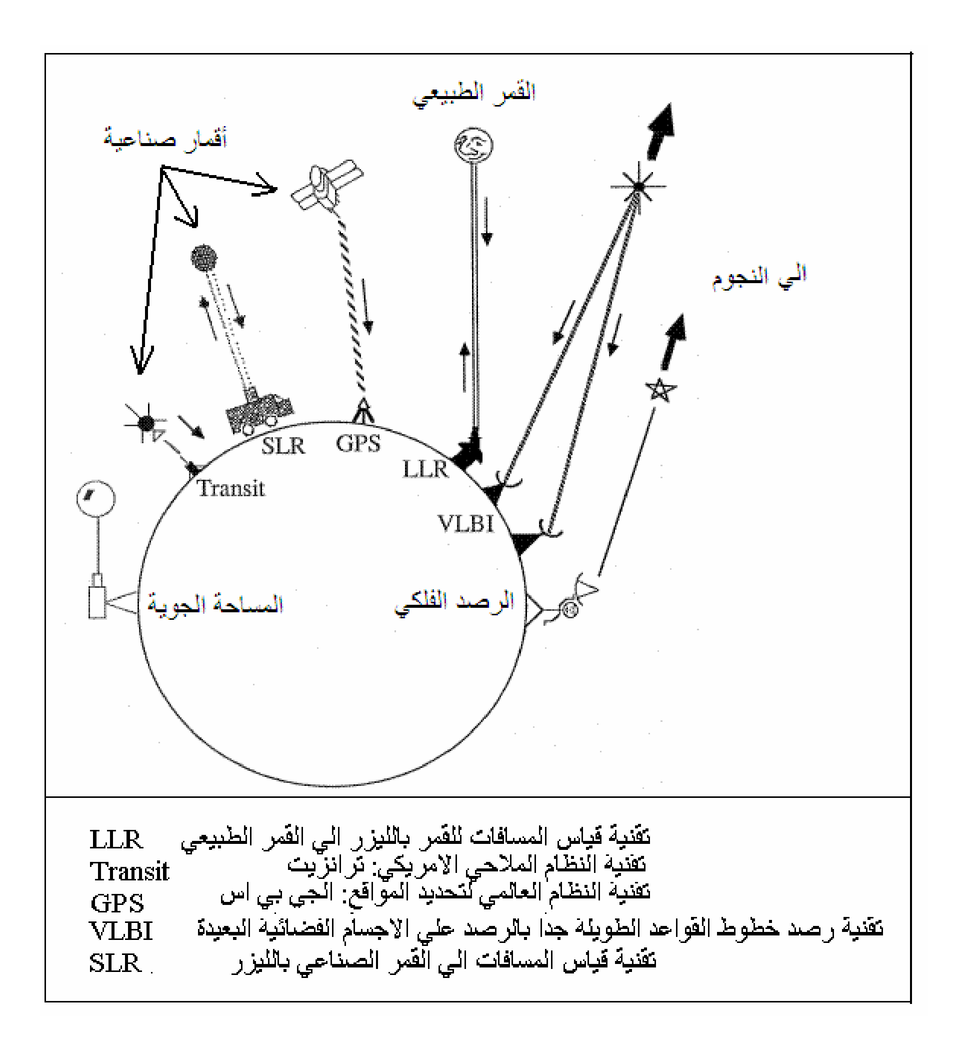
كما تجب الإشارة لوجود عدد كبير من تقنيات تحديد المواقع الحديثة سواء تلك التي تعتمد علي رصد القمر الطبيعي أو الأقمار الصناعية أو رصد النجوم [19] (شكل ١-٧).

---

[17] داود ، جمعة محمد ، ٢٠٠٢ ، استخدام أحدث تقنيات الرصد علي الأقمار الصناعية في تحديد حجم المنخفضات لمشروعات الإدارة المتكاملة للموارد المائية ، مجلة علوم المياه ، العدد ٣١ ، ص ٢٣-٣١.

[18] Dawod, G., 2003c, Productive GPS topographic mapping for national development projects in Egypt, Proceedings of the First International Conference on Civil Engineering, Assiut University, Volume 2, pp. 246-253, October 7-8.

[19] Wells, D., Beck, N., Delikaraoglou, D., Kleusberg, A., Krakiwsky, E., Lacgapelle, G., Langley, R., Nakiboglu, M., Schwarz, K., Tranquilla, J., and Vanicek, P., 1986, Guide to GPS positioning, Department of geodesy and geomatics engineering lecture note 58, University of New Brunswick, Canada, 291 pp.




**شكل ١-٧**
**تقنيات تحديد المواقع**

## الفصل الثاني
## شكل الأرض و المراجع و نظم الإحداثيات

### ٢-١ مقدمة:

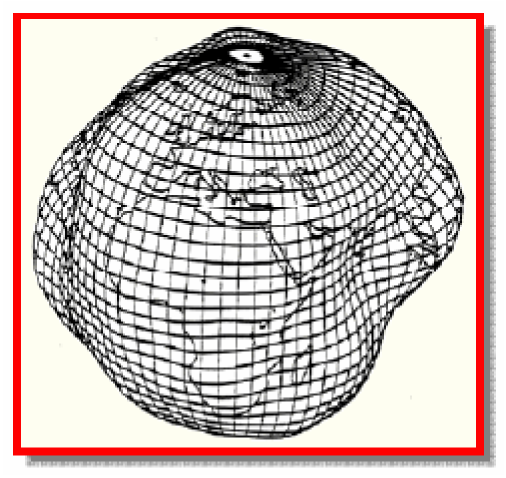
إن تحديد المواقع علي سطح الأرض يعني بداية أن نعرف ما هو الشكل الدقيق لهذا الكوكب الذي نعيش فوقه ، و ما هو المرجع الذي يمكننا أن نفترض أنه الأنسب لتمثيل الأرض رياضيا و خرائطيا. كما أن تحديد الموقع يكون من خلال قيم رياضية تعبر عنه وهي القيم التي نطلق عليها مصطلح "الإحداثيات Coordinates" علي اختلاف أنواعها و نظمها. لذلك يجب علي الدارس أو المهتم بعملية تحديد المواقع أن يلم بأساسيات هذه الموضوعات الثلاثة ، وهو ما سنقوم بعرضه في هذا الفصل.

### ٢-٢ شكل الأرض:

في بدايات المعرفة البشرية ظن الإنسان أن الأرض هي قرص صلب يطفو فوق سطح الماء ، إلي أن تطور التفكير العلمي للبشر قليلا وجاء العالم اليوناني فيثاغورث Pythagoras في القرن السادس قبل الميلاد وافترض أن الأرض كروية الشكل. وكانت أولي محاولات العلماء لتقدير حجم أو محيط هذه الكرة هي تجربة العالم الإغريقي أراتوستين التي سبق الإشارة إليها في الفصل الأول. وفي القرنين الخامس عشر و السادس عشر أيد كلا من الرحالة كولومبوس Columbus و ماجلان Magellan فكرة كروية الأرض من خلال رحلاتهما الشهيرة بالدوران حول الأرض. في عام ١٦٨٧ طور العالم الشهير نيوتن Newtown عدة مبادئ نظرية علمية وكان أهمها: أن الشكل المتوازن لكتلة مائعة متجانسة خاضعة لقوانين الجذب و تدور حول محورها ليس هو شكل الكرة كاملة الاستدارة لكنه شكل مفلطح قليلا باتجاه القطبين. وفي عام ١٧٣٥ قامت أكاديمية العلوم الفرنسية بتنظيم بعثتين لإجراء القياسات اللازمة للتأكد من هذه الفرضية وأثبتت النتائج فعلا أن الأرض مفلطحة وليست كروية الشكل تماما[١].

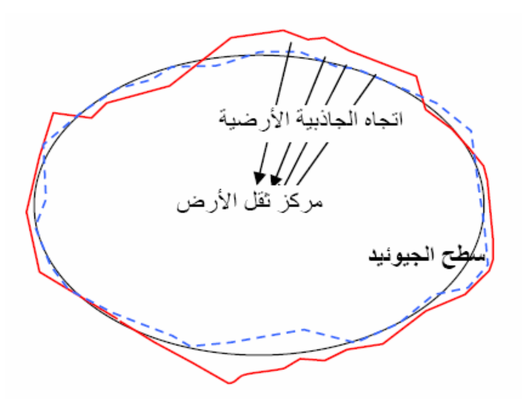
إننا نعيش علي سطح كوكب الأرض وعندما نريد أن نحدد أي موقع علي الأرض فنحن بحاجة إلي أن نقوم بتعريف هذا السطح – شكله و حجمه – لكي يمكننا من معرفة في أي مكان نحن نقع بالضبط. إن شكل السطح الطبيعي للأرض كما خلقه الله تعالي بما يضمه من قارات و محيطات و جبال و أودية و بحار ليس شكلا سهلا وليس منتظما لكي يمكن التعبير عنه بسهولة (شكل ٢-١).

[1] صيام ، يوسف ، ٢٠٠٢ ، المساحة: أنظمة الإحداثيات و قراءة الخرائط ، عمان ، الأردن.



**شكل ٢-١**
**الأرض غير منتظمة الشكل**

بحث العلماء عن شكل افتراضي آخر للأرض يكون أقل تعقيدا واهتدوا إلي فكرة أنه طالما أن مساحة الماء في المحيطات و البحار تشكل حوالي ٧٠% من مساحة الأرض فأن شكل الأرض يكاد يكون هو الشكل المتوسط لسطح الماء (إذا أهملنا حركة سطح الماء بسبب التيارات البحرية و المد و الجزر) Mean Sea Level والمعروف اختصارا بأحرف MSL، وإذا قمنا بمد هذا السطح تحت اليابسة لنحصل علي شكل متكامل فأن هذا الشكل سيكون أقرب ما يكون للشكل الحقيقي للأرض. وتم إطلاق اسم الجيويد أو الجيوئيد Geoid علي هذا الشكل الافتراضي [يجب ملاحظة أن هناك فرق في حدود متر واحد فقط بين كلا من MSL و الجيويد إلا أنه في معظم التطبيقات الهندسية تتغاضي عن هذا الفرق و نعتبر أن كلا الشكلين أو المصطلحين يشيرا لنفس الجسم[2]]. ولكن طبقا لمبدأ نيوتن السابق فأن شكل هذا الجيويد لن يكون منتظما لان سطح الجيويد يتعامد مع اتجاه قوة الجاذبية الأرضية وأيضا يخضع لقوة الطرد المركزية الناتجة عن دوران الأرض حول محورها ، وكلا القوتين تختلفان من مكان لآخر علي سطح الأرض بسبب عدم توزيع الكثافة يشكل منتظم (يختلف سمك القشرة الأرضية من ٦ إلي ٦- كيلومتر) . وبذلك نخلص إلي أن الجيويد (شكل ٢-٢) هو الشكل الحقيقي للأرض إلا أنه شكل معقد أيضا و يصعب تمثيله بمعادلات رياضية تمكننا من رسم الخرائط و تحديد المواقع عليه.




**شكل ٢-٢**
**الجيويد: الشكل الحقيقي للأرض**

[2] Iliffe, J., 2005, Datums and map projection: For remote sensing, GIS, and surveying, CRC Press, Washington, DC, USA.

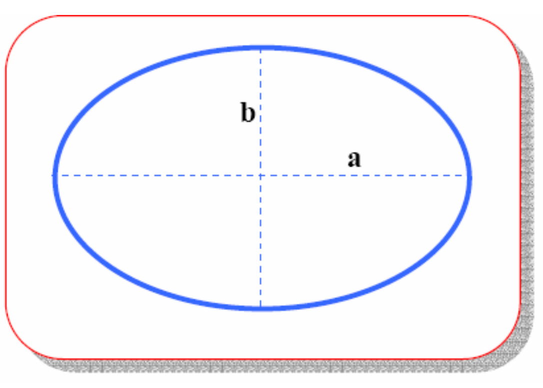
لتعقد الجيويد وصعوبة تمثيله بمعادلات رياضية أتجه العلماء إلي البحث عن أقرب الأشكال الهندسية المعروفة ووجدوا أن القطع الناقص أو الاليبس Ellipse هو الأقرب ، فإذا دار هذا الاليبس حول محوره فسينتج لنا مجسم القطع الناقص أو الاليبسويد أو الشكل البيضاوي Ellipsoid or Ellipsoid of Revolution ويعرف أيضا باسم الاسفرويد Spheroid (لكن اسم الاليبسويد هو الأكثر انتشارا وهو الذي سنستخدمه في هذا الكتاب). ربما يتبادر إلي الأذهان الآن سؤال: ما هو الفرق بين الاليبس و الدائرة أو بمعني آخر ما هو الفرق بين الاليبسويد و الكرة؟ بالنظر لشكل ٢-٣ نجد أن الاليبسويد مفلطح قليلا عند كلا القطبين بعكس الكرة التي تكون كاملة الاستدارة تماما ، أيضا الكرة لها قطر و احد له نفس القيمة في جميع الاتجاهات بينما نجد الاليبسويد له محورين مختلفين. للتعبير عن الاليبسويد يلزمنا معرفة عنصرين (لاحظ أن الكرة يعبر عنها بعنصر واحد فقط هو نصف قطرها):

- نصف المحور الأكبر (المحور في مستوي خط الاستواء) ويرمز له بالرمز a
- نصف المحور الأصغر (المحور بين كلا القطبين) ويرمز له بالرمز b

ويقوم البعض بالتعبير عن الاليبسويد بطريقة أخري من خلال العنصرين:

- نصف المحور الأكبر (المحور في مستوي خط الاستواء) ويرمز له بالرمز a
- معامل التفلطح flattening ويرمز له بالرمز f ويتم حسابه من المعادلة:

$$f = (a - b) / a \quad \text{or} \quad f = 1 - (b / a) \qquad (2\text{-}1)$$

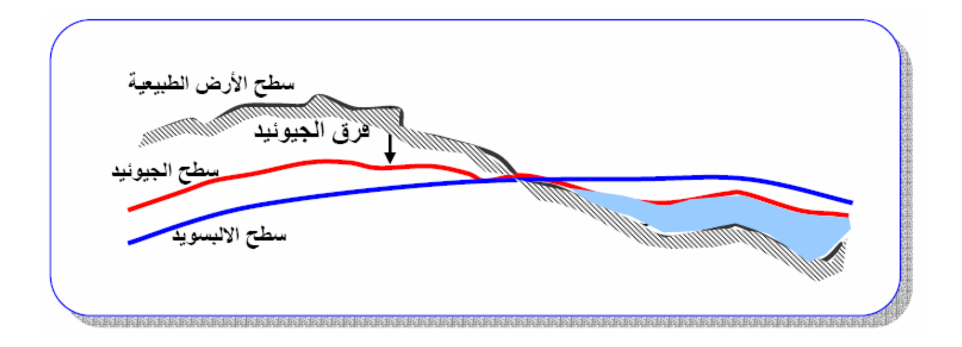



**شكل ٢-٣**
**الالبسويد**

ويتميز شكل الاليبسويد بعدة خصائص مثل[3] (شكل ٢-٤):

أ- سهولة إجراء الحسابات علي سطحه (حيث أنه شكل هندسي معروف).
ب- لا يختلف سطح الاليبسويد الرياضي عن سطح الجيويد الفيزيقي كثيرا (أكبر فرق بين كلاهما لا يتعدي ١٠٠ متر فقط. لاحظ أن الفرق بين الجيويد و الكرة يصل إلي ٢١ كيلومتر تقريبا).

[3] المؤسسة العامة للتعليم الفني و التدريب المهني ، ١٤٢٦ هـ ، النظام الكوني لتحديد المواقع ، مقرر دراسي لطلاب المعاهد الثانوية الفنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.




**شكل ٢-٤**
**العلاقة بين الجيويد و الاليبسويد**

## ٢-٣ المراجع:

لكي يمكن تحديد المواقع علي سطح الأرض يلزمنا اختيار شكل رياضي يعبر عن شكل و حجم الأرض ذاتها و هو ما نطلق عليه اسم الشكل المرجعي Reference Surface[4]. أحد هذه الأشكال المرجعية من الممكن أن يكون الكرة والتي كانت مستخدمة لفترة طويلة لتحديد المواقع التي لا تتطلب دقة كبيرة ولرسم الخرائط التي لا يزيد مقياسها عن ١ : مليون[5]. أيضا للمساحات الصغيرة جدا (أقل من ٥٠ كيلومتر مربع) من الممكن اعتبار المستوي Plane شكلا مرجعيا وخاصة في تطبيقات المساحة المستوية Plane Surveying[6]. أما لتحديد المواقع بدقة عالية أو لرسم الخرائط الدقيقة فأن الاليبسويد هو الشكل المرجعي المستخدم.

طوال القرنين الأخيرين تعددت محاولات علماء الجيوديسيا لتحديد أنسب اليبسويد يعبر عن شكل الأرض بأقرب صورة ممكنه. وكلما تجمعت قياسات جيوديسية جديدة لدي أحد العلماء أو الجهات الدولية تم حساب قيم جديدة لعناصر تعريف الاليبسويد (سواء a , b أو a , f) مما أدي لوجود العديد من نماذج الاليبسويد ، ويعرض الجدول ٢-١ بعضا من هذه النماذج.

كانت كل دولة عند بدء إقامة الهيكل الجيوديسي أو المساحي لها بغرض البدء في إنتاج الخرائط غالبا ما تختار أحدث البسويد – في ذلك الوقت – لتتخذه السطح المرجعي لنظام خرائطها. فإذا ظهر بعد عدة سنوات البسويد آخر لم يكن ممكنا – لأسباب تقنية و مادية – أن تقوم هذه الدولة بتغيير السطح المرجعي لها و إعادة إنتاج و طباعة كل خرائطها من جديد. لكن ما هو المرجع؟ من المعروف أن أي البسويد يكون أقرب ما يمكن لتمثيل سطح الأرض علي المستوي العالمي ، أي أن الفروق بينه وبين الجيويد تختلف من مكان لمكان علي سطح الأرض لكنها أقل ما يمكن علي المستوي العالمي. لكن كل دولة عندما تعتمد البسويد معين تريد أن يكون الفرق بينه و بين الجيويد أقل ما يمكن في حدودها ولا تهتم إن كانت هذه الفروق كبيرة في مناطق أخري من العالم. لذلك كانت كل دولة تلجأ لتعديل وضع الالبسويد المرجعي قليلا Re-Position لكي يحقق هذا الهدف. وفي هذه الحالة – أي بعد إجراء هذا التعديل البسيط – فلم يعد هذا الالبسويد كما كان في الأصل لكنه صار في وضع مختلف ، وهنا نطلق عليه اسم مرجع أو مرجع جيوديسي أو مرجع وطني أو بيان A geodetic Datum, a local datum, or

[4] Al-Rabbany, A., 2002, Introduction to GPS: The Global Positioning System, Artech House, Inc., Boston, USA.
[5] إبراهيم ، نقولا ، ١٩٨٢ ، مساقط الخريطة ، منشأة المعارف ، الإسكندرية ، مصر.
[6] صيام ، يوسف ، ٢٠٠٢ ، المساحة: أنظمة الإحداثيات و قراءة الخرائط ، عمان ، الأردن.

simply a datum. أي أن المرجع الوطني لأي دولة ما هو إلا البسويد عالمي قد تم تعديل وضعه بصورة أو بآخري ليناسب هذه الدولة ويكون أقرب تمثيلا لشكل الجيويد (الشكل الحقيقي للأرض) عند هذه الدولة[٧]. كما يجب الإشارة إلي أنه كلما قلت الفروق بين المرجع الوطني لدولة ما و الجيويد كلما زادت دقة الخرائط المرسومة اعتمادا علي هذا المرجع[٨].

**جدول ٢-١**
**بعض نماذج الاليبسويد المستخدمة عالميا**

| اسم الاليبسويد | نصف المحور الأكبر a بالمتر | نصف المحور الأصغر b بالمتر | الدولة التي تستخدمه |
|---|---|---|---|
| Helmert 1906 | ٦٣٧٨٢٠٠ | ٦٢٥٦٨١٨ | مصر |
| Clarcke 1866 | ٦٣٧٨٢٧٤ | ٦٣٥٦٦٥١ | أمريكا الشمالية |
| Bassel 1841 | ٦٣٧٧٣٩٧ | ٦٣٥٦٠٧٩ | وسط أوروبا |
| Airy 1830 | ٦٣٧٧٥٦٣ | ٦٣٥٦٢٥٧ | بريطانيا |
| WGS72 | ٦٣٧٨١٣٥ | ٦٣٥٦٧٥٠ | عالمي |
| WGS84 | ٦٣٧٨١٣٧ | ٦٣٥٦٧٥٢ | عالمي |

ولتوضيح هذه النقطة الهامة أكثر سنأخذ مثال لجمهورية مصر العربية. عند بدء أعمال الجيوديسيا و إنشاء الخرائط في مصر في بداية القرن العشرين كان أحدث اليبسويد متاح في ذلك الوقت هو اليبسويد هلمرت ١٩٠٦. تم اتخاذ القرار باختيار هذا الاليبسويد ليكون سطحا مرجعيا لمصر. وبعد ذلك تم إجراء عدد من التعديلات علي وضع هذا الاليبسويد ليتكون ما يعرف باسم المرجع الوطني المصري ١٩٠٧ Old Egyptian Datum أو اختصارا OED1970. أحد هذه التعديلات كان الفرض بأن الارتفاع عن سطح الاليبسويد = الارتفاع عن متوسط سطح البحر عند النقطة الأساسية المسماه F1 أو نقطة الزهراء بجبل المقطم[٩]. هذا الفرض يعني أننا افترضنا أن سطح اليسويد هلمرت ١٩٠٦ ينطبق مع سطح الجيويد عند هذه النقطة (هذا غير حقيقي لكنه فرض أساسي لتسهيل بدء الحسابات الجيوديسية لشبكات الثوابت الأرضية المساحية). وبمعني آخر أننا قمنا برفع سطح اليبسويد هلمرت ١٩٠٦ عدة أمتار لينطبق مع سطح الجيويد عند هذه النقطة المحددة ، وبالتالي لم يعد هلمرت ١٩٠٦ هو ذلك الاليبسويد العالمي الذي تم تحديد شكله و حجمه ووضعه ليكون أقرب ما يمكن لتمثيل شكل الأرض علي المستوي العالمي ، إنما صار له وضع جديد يناسب المنطقة الجغرافية لجمهورية مصر العربية فقط. هنا لا نقول أنه اليبسويد أنما نطلق عليه اسم المرجع المصري.

7 الغزالي ، محمد شوقي ، ١٩٩٧ ، الجيوديسيا الهندسية و نظام تحديد المواقع العالمي ، القاهرة ، مصر.
8 صيام ، يوسف ، ٢٠٠٢ ، المساحة: أنظمة الإحداثيات و قراءة الخرائط ، عمان ، الأردن.
9 Mugnier, C., 2008a, Grids and Datums: Arab Republic of Egypt, ASPRS Newsletter, November, pp. 1307-1309.

كما يجب الإشارة في هذا السياق إلي وجود مراجع وطنية عديدة لدول مختلفة كلها تعتمد علي نفس الاليبسويد العالمي ، لكن كل مرجع منهم يعدل وضع هذا الاليبسويد بصورة مختلفة. كمثال فان المراجع الوطنية لكلا من السودان و تونس و المغرب و الجزائر و الإمارات و عمان تعتمد جميعها علي اليبسويد Clarke 1880 لكن كل مرجع له وضع مختلف (أنظر عناصر التحويل بين المراجع لاحقا).

المراجع التي تحدثنا عنها حتى الآن هي ما يمكن أن نطلق عليها اسم المراجع الأفقية Horizontal Datum وهي الخاصة بتحديد المواقع في المستوي الأفقي. أما عند التعامل مع الإحداثيات في المستوي الرأسي (أي الارتفاعات) فأننا نحتاج إلي نوع آخر من المراجع هي المراجع الرأسية Vertical Datum. ويعد الجيويد هو المرجع الرأسي المعتمد في العديد من دول العالم ، أي لتحديد هذا المرجع نحتاج لتحديد النقطة التي يكون عندها متوسط سطح البحر يساوي صفر[10]. وكمثال في مصر فقد تم إنشاء محطة قياس المد و الجزر Tide Gauge في ميناء الإسكندرية وتم تسجيل قياساتها لمدة ٨ سنوات من عام ١٨٩٨ إلي عام ١٩٠٦ وأخذ متوسطها بحيث أن هذه القراءة (علي المسطرة المدرجة داخل المحطة) اعتبرت هي المنسوب المساوي للصفر أي هي النقطة التي تحدد موقع الجيويد. و انطلاقا من هذه النقطة المرجعية تم استخدام أسلوب الميزانية Leveling لإنشاء مجموعة من النقاط – تسمي الروبيرات أو Bench Marks: BM- المعلومة المنسوب و التي تغطي معظم أرجاء مصر. لذلك نقول أن المرجع الوطني الرأسي المصري Vertical Egyptian Datum هو قيمة متوسط سطح البحر MSL عند الإسكندرية في عام ١٩٠٦. وفي إطار هذا السياق تجب الإشارة إلي أن هذا المرجع الرأسي قد تغيرت قيمته نتيجة ارتفاع متوسط سطح البحر علي المستوي العالمي في المائة عام الأخيرة (بقيمة متوسطة تبلغ +١١.٦ سم وبمعدل ١.٧ ملليمتر/سنة في مصر[11]).

**٢-٤ نظم الإحداثيات:**

الإحداثيات Coordinates هي القيم التي بواسطتها نعبر عن موقع معين علي سطح الأرض أو علي الخريطة. وتتعدد أنظمة الإحداثيات تبعا لاختلاف السطح المرجعي الذي يتم تمثيل المواقع عليه. فعند اختيار المستوي كسطح مرجعي (مثل الخريطة) فأن الإحداثيات تكون إحداثيات مستوية أو مسقطة أو ثنائية الأبعاد (Two-Dimensional (or 2D Coordinates. ويرجع اسم ثنائية الأبعاد إلي أن كل نقطة – علي الخريطة مثلا – يلزمها قيمتين لتحديد موقعها وليكن مثلا س ، ص. بينما عند اعتماد الكرة أو الاليبسويد كسطح مرجعي فأننا نتعامل مع نوع الإحداثيات الفراغية أو الإحداثيات ثلاثية الأبعاد -Three Dimensional (or 3D) Coordinates حيث يجب إضافة ارتفاع النقطة عن سطح المرجع كبعد ثالث لتحديد موقعها الدقيق ، أي نحتاج لمعرفة القيم الثلاثة س ، ص ، ع لكل موقع. وفي حالة الكرة تسمي الإحداثيات باسم الإحداثيات الكروية Spherical Coordinates بينما في حالة الاليبسويد تسمي بالإحداثيات الجيوديسية Geodetic Coordinates أو الإحداثيات الجغرافية Geographic Coordinates أو الإحداثيات الاليبسويدية Ellipsoidal Coordinates. كما توجد إحداثيات أحادية البعد -One Dimensional (or 1D) Coordinates وهي غالبا التي تعبر فقط عن ارتفاع النقطة من

[10] Al-Rabbany, A., 2002, Introduction to GPS: The Global Positioning System, Artech House, Inc., Boston, USA.

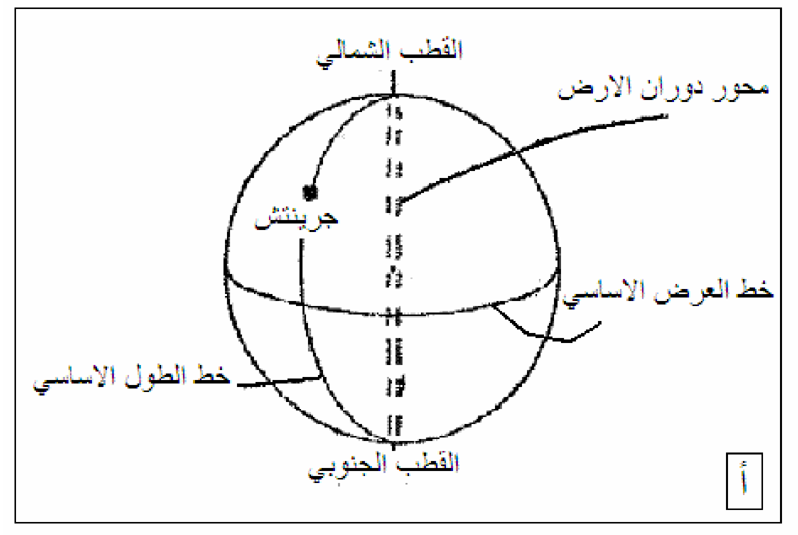
[11] Mohamed, H.F., 2005, Realization and redefinition of the Egyptian vertical datum based on recent heterogonous observations, PhD dissertation, Faculty of Engineering at Shobra, Benha University.

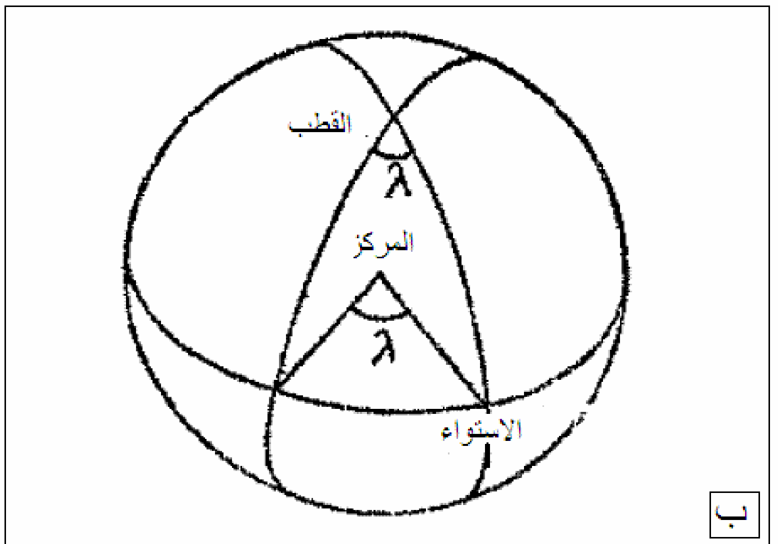
سطح الشكل المرجعي المستخدم. وفي التطبيقات الجيوديسية و الجيوفيزيقية عالية الدقة توجد إحداثيات رباعية الأبعاد Four-Dimensional (or 4D) Coordinates حيث يتم تحديد موقع النقطة في زمن محدد بحيث تكون إحداثياتها هي س ، ص ، ع ، ن حيث البعد الرابع "ن" يعبر عن زمن قياس هذه الإحداثيات لهذا الموقع. وسنستعرض بعض أنظمة الإحداثيات بالتفصيل في الأجزاء التالية.

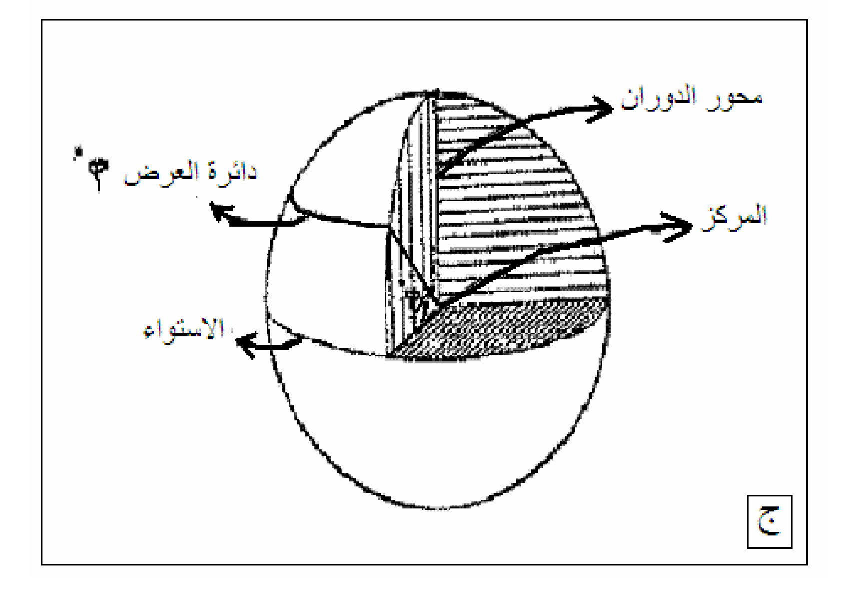
منذ قرون مضت أبتكر العلماء طريقة لتمثيل موقع أي نقطة علي سطح الأرض (باعتبار أن الأرض كرة) وذلك عن طريق[12]:

- تم اتخاذ الخط الأساسي الأفقي هو تلك الدائرة العظمي (أي التي تمر بمركز الأرض) والتي تقع في منتصف المسافة بين القطبين وسميت بدائرة الاستواء.
- أتخذ الخط الأساسي الرأسي ليكون هو نصف الدائرة التي تصل بين القطبين الشمالي و الجنوبي وتمر ببلدة جرينتش بانجلترا (شكل ٢-٥ أ).
- قسمت دائرة الاستواء إلي ٣٦٠ قسما متساويا و رسم علي سطح الأرض ٣٦٠ نصف دائرة (وهمية أو اصطلاحية) تصل بين القطبين وتمر بأحدي نقاط التقسيم علي دائرة الاستواء ، وكل نصف دائرة تسمي خط طول Longitude. ويتضح من ذلك أن الزاوية عند مركز الأرض بين نقطتي تقسيم متجاورتين تساوي ١ درجة (يرمز للدرجة بالرمز °١) لان ٣٦٠ درجة تقابل ٣٦٠ قسما. وتم ترقيم خط طول جرينتش بالرقم صفر وخط الطول المجاور له من جهة الشرق °١ شرق ، ثم °٢ شرق ، .... إلي °١٨٠ شرق وبنفس الطريقة للخطوط الواقعة غرب جرينتش من °١ غرب ، إلي °١٨٠ غرب. وتكون زاوية خط الطول (شكل ٢- ٥ ب) هي الزاوية الواقعة في مستوي دائرة الاستواء والمحصورة بين ضلعين يمر أحدهما بخط طول جرينتش بينما يمر الآخر بخط طول النقطة ذاتها.
- تم تقسيم خط الطول الأساسي (جرينتش) إلي ١٨٠ قسما متساويا ورسم علي الأرض دوائر صغري وهمية (الدائرة الصغرى هي التي لا تمر بمركز الأرض) توازي دائرة الاستواء وتمر كل دائرة منها بأحدي نقاط تقسيم خط طول جرينتش. وبذلك تكون الزاوية عند مركز الأرض بين نقطتين متجاورتين من نقاط التقسيم تساوي °١ لان ١٨٠ درجة تقابل ١٨٠ قسما ، وأطلق علي هذه الدوائر اسم دوائر العرض ومنهم ٩٠ دائرة شمال دائرة الاستواء و ٩٠ دائرة جنوبه. وبنفس الأسلوب تم ترقيم دائرة الاستواء بالرقم صفر ودائرة العرض المجاور لها من جهة الشمال °١ شمال ، ثم °٢ شمال ، .... إلي °٩٠ شمال وبنفس الطريقة للدوائر الواقعة جنوب دائرة الاستواء من °١ جنوب ، إلي °٩٠ جنوب. زاوية العرض Latitude هي الزاوية الواقعة في مستوي دائرة من دوائر الطول و رأسها عند مركز الدائرة و ضلعها الأساسي يمر في مستوي الاستواء و الضلع الآخر يمر في دائرة من دوائر العرض (شكل ٢-٥ ج).

[12] إبراهيم ، نقولا ، ١٩٨٢ ، مساقط الخريطة ، منشأة المعارف ، الإسكندرية ، مصر.



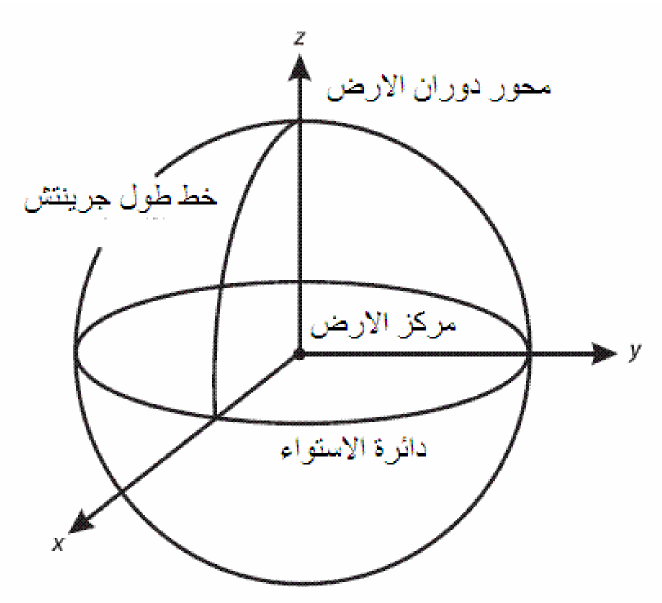




شكل ٢ـ٥
تحديد المواقع علي الكرة

### ٢-٤-١ الإحداثيات الجغرافية أو الجيوديسية:

نظام الإحداثيات الجيوديسية هو أحد نظم الإحداثيات الذي مركزه هو مركز الأرض ومحاوره مثبته مع الأرض أثناء دورانها ولذلك يطلق عليه نظام مركزي أرضي ثابت Earth-Centered Earth-Fixed أو اختصارا ECEF. مركز النظام يقع في مركز جاذبية الأرض، وينطبق محوره الرأسي z مع محور دوران الأرض ، يتجه محوره الأفقي الأول x ناحية خط طول جرينتش بينما محوره الأفقي الثاني y يكون عموديا علي محور x (شكل ٢-٦).




**شكل ٢-٦**

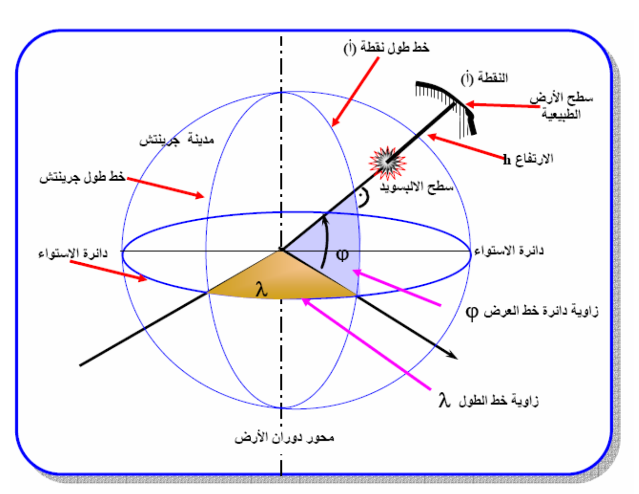
**نظام الإحداثيات الجغرافية أو الجيوديسية**

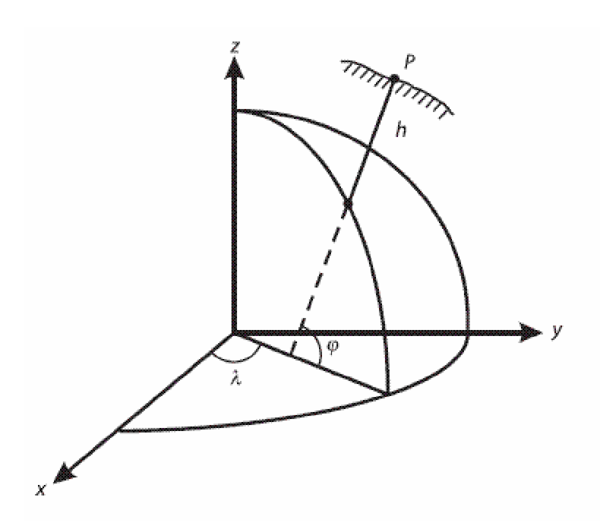
يتم تمثيل موقع أي نقطة في هذا النظام بثلاثة قيم أو ثلاثة إحداثيات ، أي أن هذا النظام ثلاثي الأبعاد 3D (شكل ٢-٧) :

خط الطول Longitude ويرمز له بالرمز اللاتيني λ (ينطق لامدا) ، وهو الزاوية المقاسه في مستوي دائرة الاستواء بين خط طول جرينتش (وهو خط الطول الذي أصطلح دوليا أن يكون رقم صفر) و خط طول النقطة المطلوبة.

دائرة العرض Latitude ويرمز له بالرمز اللاتيني ϕ (ينطق فاي) ، وهي الزاوية في المستوي الرأسي والتي يصنعها الاتجاه العمودي المار بالنقطة المطلوبة مع مستوي دائرة الاستواء (يلاحظ في الشكل أن الاتجاه العمودي علي سطح الاليبسويد لا يمر بمركز الاليبسويد عكس حالة الكرة حيث يمر العمودي علي سطح الكرة بمركزها).

الارتفاع عن سطح الاليبسويد ويرمز له بالرمز h ويسمي الارتفاع الجيوديسي أو الارتفاع الاليبسويدي Geodetic or Ellipsoidal Height




**شكل ٢-٧**

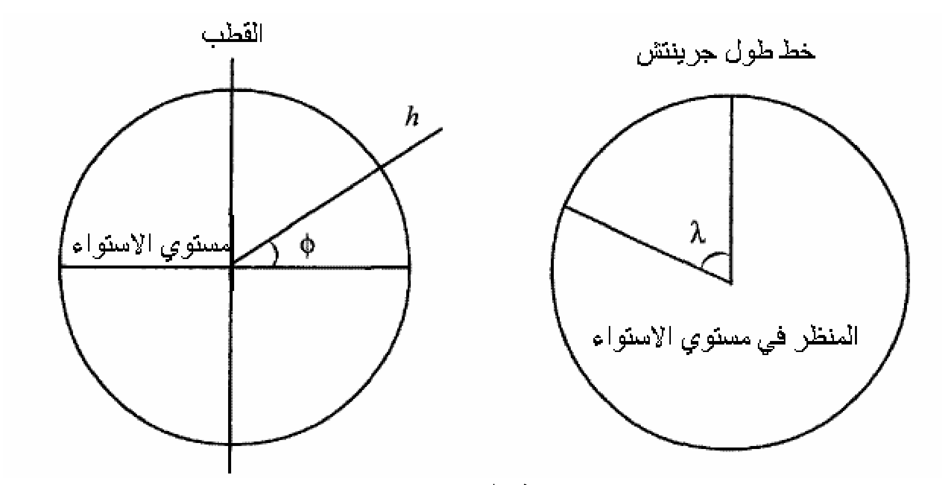
**الإحداثيات الجغرافية أو الجيوديسية**

وتوجد عدة نظم للوحدات المستخدمة في التعبير عن خطوط الطول و دوائر العرض أشهرها نظام الوحدات الستيني ، وفيه يتم تقسم الدائرة الكاملة إلي ٣٦٠ درجة (رمز الدرجة هو °) ثم تقسم الدرجة إلي ٦٠ جزء كلا منهم يسمي الدقيقة (رمز الدقيقة هو ') ثم لاحقا تقسم الدقيقة الواحدة إلي ٦٠ جزء يسمي الواحد منهم بالثانية (رمز الثانية هو "). كمثال: خط الطول 30° 45' 52.3" يعني أن موقع هذه النقطة عند ٣٠ درجة و ٤٥ دقيقة و ٥٢.٣ ثانية.

تكون خطوط الطول أما شرق خط طول جرينتش (يرمز لها بإضافة حرف ق أو E) أو غرب جرينتش (يرمز لها بإضافة حرف غ أو W). أما بالنسبة لدوائر العرض فتكون أما شمال دائرة الاستواء (يرمز لها بإضافة حرف ش أو N) أو جنوب خط الاستواء (يرمز لها بإضافة حرف ج أو S).

### ٢-٤-٢ الإحداثيات الكروية:

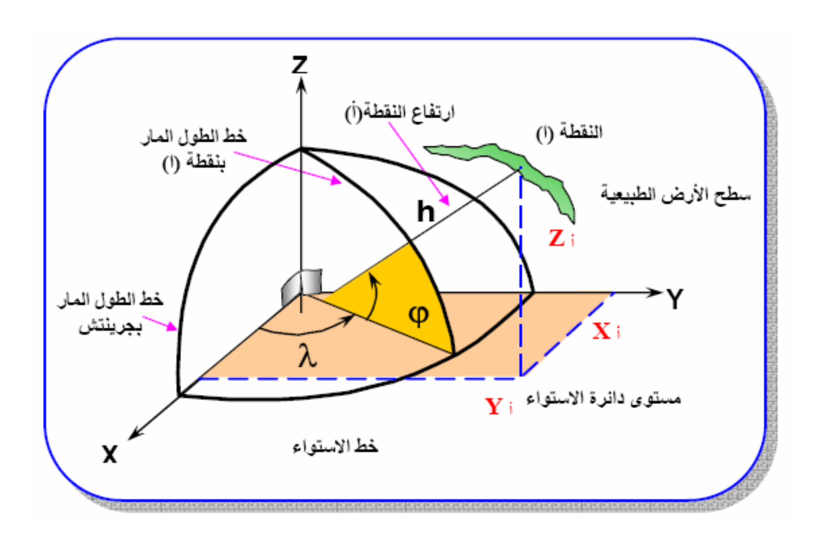
يشبه نظام الإحداثيات الكروية Spherical Coordinates نظام الإحداثيات الجيوديسية أو الجغرافية ألا في اختلاف واحد فقط ألا وهو أن السطح المرجعي هنا هو الكرة و ليس الاليبسويد (شكل ٢-٨). يلاحظ في الشكل (خاصة لقياس دائرة العرض ϕ) أن الاتجاه العمودي علي سطح الكرة يمر بمركزها عكس حالة الاليبسويد حيث لا يمر العمودي علي سطح الاليبسويد بمركزه.




**شكل ٢-٨**
**الإحداثيات الكروية**

### ٢-٤-٣ الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية أو الفراغية أو الديكارتية:

هو نظام إحداثيات مشابه تماما في تعريفه لنظام الإحداثيات الجيوديسية ألا أنه يتميز أن إحداثياته الثلاثة تكون طولية (أي بالمتر أو الكيلومتر) و ليس منحنية (بالدرجات) مما يجعله أسهل في التعامل وخاصة في الحسابات ، وقد أبتكره العالم الفرنسي ديكارت في القرن السابع عشر. نقطة الأصل لنظام الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية Cartesian Geodetic Coordinates هي مركز الأرض ومحوره الأول X ينشأ من تقاطع مستوي خط الطول المار بجرينتش مع مستوي دائرة الاستواء ومحوره الثاني Y هو العمودي علي محور X بينما المحور الثالث (الرأسي) Z هو محور دوران الأرض و الذي يمر بمركز الأرض وكلا القطبين. ويعبر عن موقع كل نقطة بثلاثة إحداثيات: X, Y, Z (شكل ٢-٩).




**شكل ٢-٩**
**الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية**

## ٢-٤-٤ الإطار المرجعي الأرضي العالمي:

نلاحظ أن المحور الرأسي في نظم الإحداثيات التي تحدثنا عنها حتى الآن كان يعرف علي أنه ينطبق مع محور دوران الأرض ، وهذا بافتراض أن محور دوران الأرض ثابت. هذا الأساس الفرضي ربما يكون مناسبا لمعظم تطبيقات تحديد المواقع – بما فيها التطبيقات الجيوديسية - التي تتطلب دقة سنتيمتر أو أكبر. لكن علماء الجيوديسيا أثبتوا منذ سنوات بعيدة أن محور دوران الأرض ليس ثابتا بصورة تامة ، لكنه يتحرك من عام لآخر في حركة أشبه بحركة النحلة (لعبة الأطفال الشهيرة!) ، وبالتالي فأن تعريف أو تحديد محور دوران الأرض يتغير من فترة زمنية لأخري ، ومع أن هذا التغير بسيط جدا جدا (سنتيمترات فقط) إلا أنه يجب أخذه في الاعتبار في حالة تحديد نظام إحداثيات عالي الدقة وخاصة للتطبيقات الجيوديسية التي تتطلب دقة ملليمترات (مثل متابعة و رصد حركة القشرة الأرضية). وبناءا عليه فقد تم تطوير فكرة الإطار المرجعي الأرضي العالمي International Terrestrial Reference Frame أو المعروف اختصارا باسم ITRF ، حيث تقوم احدي المنظمات الجيوديسية الدولية بتحديد محور دوران الأرض كل ٣ سنوات وذلك من خلال تجميع و تحليل القياسات الجيوديسية الدقيقة الموزعة علي جميع أنحاء الأرض[١٣]. وبالتالي فأن هذا النظام من نظم الإحداثيات من الممكن اعتباره من الإحداثيات رباعية الأبعاد 4D حيث يتم تحديد ITRF طبقا لسنة epoch معينة. كمثال نجد: ITRF1990 , ITRF1995, ITRF2000, and ITRF2005.

## ٢-٤-٥ التحويل بين الإحداثيات الجغرافية:

يمكن باستخدام مجموعة المعادلات التالية تحويل الإحداثيات الجيوديسية أو الجغرافية ($\phi, \lambda$, h) إلي الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية (X, Y, Z) [١٤]:

$$X = (c + h) \cos \phi \cos \lambda$$
$$Y = (c + h) \cos \phi \sin \lambda$$
(2-2)
$$Z = [\, h + c\,(1 - e^2)\,] \sin \phi$$

حيث c يسمي نصف قطر التكور radius of curvature ، e تسمي المركزية الأولي first eccentricity ويتم حسابهما كالتالي:

$$c = \frac{a}{\sqrt{(1 - e^2 \sin^2 \phi)}} \qquad (2\text{-}3)$$

$$e = [\sqrt{(a^2 - b^2)}\,] / a \qquad (2\text{-}4)$$

[13] Al-Rabbany, A., 2002, Introduction to GPS: The Global Positioning System, Artech House, Inc., Boston, USA.
[14] Iliffe, J., 2005, Datums and map projection: For remote sensing, GIS, and surveying, CRC Press, Washington, DC, USA.

أما للتحويل من الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية (X, Y, Z) إلي الإحداثيات الجيوديسية أو الجغرافية ($\phi, \lambda, h$) فأحد الحلول يتمثل في المعادلات التالية[١٥]:

$$\tan \lambda = Y / X$$

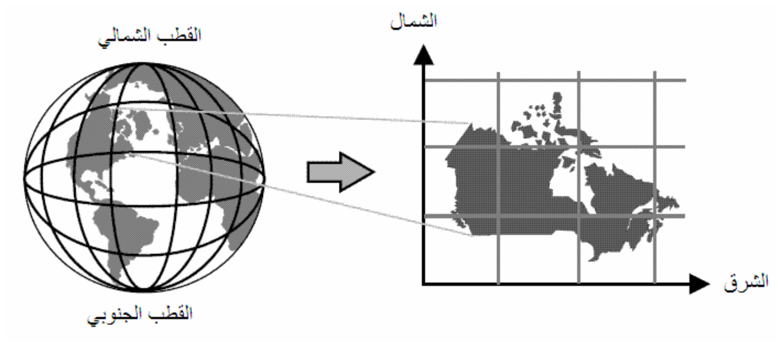
$$\tan \phi = \frac{Z / \sqrt{(X^2 + Y^2)}}{1 - e^2 (c / ( c + h) )} \qquad (2-5)$$

$$h = \frac{\sqrt{(X^2+Y^2)}}{\cos \phi} - c$$

نلاحظ في هذه المعادلات أننا نحتاج لمعرفة قيمة c لكي نستطيع حساب قيمة $\phi$ و h ، لكن لنحسب قيمة c من المعادلة ٢-٣ فأننا نحتاج لمعرفة قيمة $\phi$ ! ولذلك يتم حساب هذا النوع من التحويل بطريقة تكرارية Iterative ، حيث نبدأ باستخدام قيمة تقريبية لدائرة العرض $\phi$ ونحسب قيمة تقريبية لنصف قطر التكور c ثم نأخذ قيمة c هذه لنحسب منها قيمة جديدة $\phi$ وهكذا لعدد من المرات إلي أن نجد عدم وجود أي فرق جوهري Significant بين قيمتين متتاليتين لدائرة العرض $\phi$.

### ٢-٤-٦ إسقاط الخرائط:

إسقاط الخرائط Map Projection هو العملية الرياضية التي تمكننا من تحويل الإحداثيات علي مجسم الأرض - سواء كان الشكل المرجعي الذي يمثل الأرض هو الكرة أو الاليبسويد- (أي إحداثيات ثلاثية الأبعاد) إلي إحداثيات ممثلة علي سطح مستوي وهو الخريطة (أي إحداثيات ثنائية الأبعاد أو إحداثيات شبكية Grid Coordinates). أو بمعني آخر: هو العملية التي تمكننا من تحويل قيم خط الطول و دائرة العرض لموقع إلي الاحداثي الشرقي و الاحداثي الشمالي المطلوبين لتوقيع هذا الموقع علي الخريطة [١٦] (شكل ٢-١٠). ويسمي الشكل الناتج عن عملية الإسقاط بالمسقط.




**شكل ٢-١٠**
**عملية إسقاط الخرائط**

[15] حموي ، هيثم نوري ، ١٩٩٧ ، مدخل إلي جيوديسيا الأقمار الصناعية ومقدمة مسهبة في نظام التوضع العالمي، فيينا ، النمسا.

[16] Al-Rabbany, A., 2002, Introduction to GPS: The Global Positioning System, Artech House, Inc., Boston, USA.

ولا يمكن بأي حال من الأحوال أن تتم عملية تحويل الشكل المجسم للأرض إلي شكل مستوي (خريطة) بصورة تامة ولكن سيكون هناك ما نسميه " التشوه Distortion" في أي طريقة من طرق إسقاط الخرائط. تحاول الطرق المختلفة لإسقاط الخرائط أن تحافظ علي واحدة أو أكثر من الخصائص التالية بين الهدف الحقيقي علي الأرض و صورته علي الخريطة(مرة أخري لا يمكن تحقيق كل الخصائص مجتمعة):

- تطابق في المساحات
- تطابق في المسافات
- تطابق في الاتجاهات
- تطابق في الزوايا
- تطابق في الأشكال

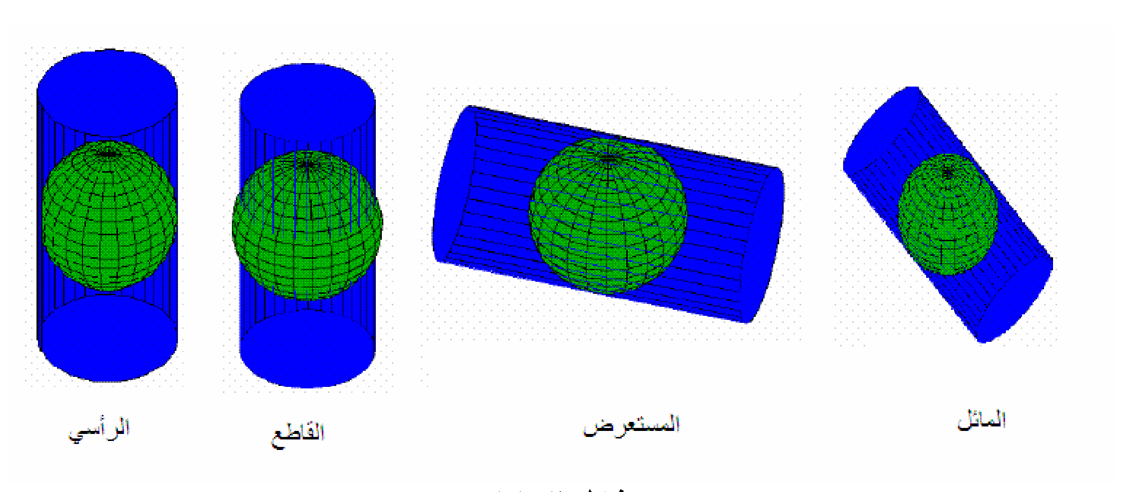
هناك بعض أنواع الإسقاط التي تحافظ علي المسافات وتسمي مساقط المسافات المتساوية Equidistance Projection وأنواع تحافظ علي الأشكال و الزوايا معا لكن في مساحات محدودة وتسمي مساقط التماثل Conformal Projection (وهي الأقرب للاستخدام في التطبيقات المساحية) وأنواع ثالثة تحافظ علي المساحات وتسمي مساقط المساحات المتساوية Equal-Area Projection [١٧].

تنقسم مساقط الخرائط إلي ٤ مجموعات رئيسية[١٨]:

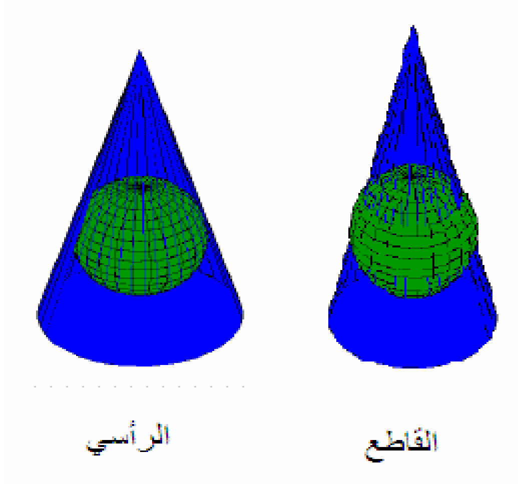
أ- المساقط الاسطوانية Cylindrical Projections: تنشأ من إسقاط سطح الأرض علي اسطوانة والتي أما تمس الأرض رأسيا أو تقطعها أو تمس الأرض عرضيا أو بصورة مائلة (شكل ٢-١١).
ب- المساقط المخروطية Conical; Projection: تنشأ من إسقاط سطح الأرض علي مخروط والذي أما يمس الأرض رأسيا أو يقطعها (شكل ٢-١٢).
ت- المساقط السمتية أو المستوية أو الاتجاهية :Azimuthal Projection: تنشأ من إسقاط سطح الأرض علي مستوي والذي أما يمس الأرض رأسيا عند نقطة محددة أو يقطعها في دائرة (شكل ٢-١٣).
ث- مساقط أخري خاصة.

غالبا يلعب شكل المنطقة الجغرافية المطلوب إسقاطها دورا مهما في تحديد طريقة الإسقاط المناسبة ، فكمثال نختار طريقة إسقاط سمتية إذا كانت شكل المنطقة شبه دائري و طريقة إسقاط اسطوانية للمناطق شبه المستطيلة و طريقة إسقاط مخروطية للمناطق شبه المثلثية[١٩].

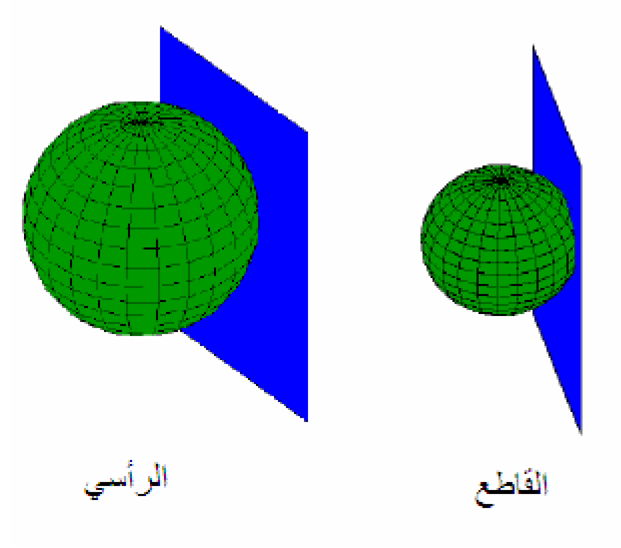
[17] صيام ، يوسف ، ٢٠٠٢ ، المساحة: أنظمة الإحداثيات و قراءة الخرائط ، عمان ، الأردن.
[18] Dana, P., 2000, Map projection, The Geographer's Craft Project, Department of Geography, The university of Colorado at Boulder,, USA, Available on-line at: http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/
[19] صيام ، يوسف ، ٢٠٠٢ ، المساحة: أنظمة الإحداثيات و قراءة الخرائط ، عمان ، الأردن.




**شكل ٢-١١**
**طرق الإسقاط الاسطواني**



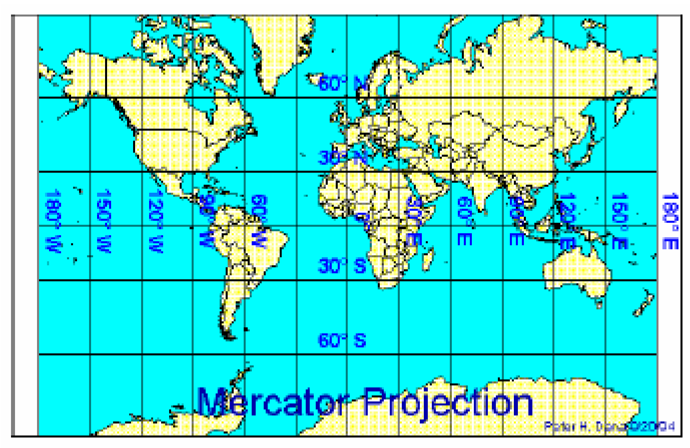

**شكل ٢-١٢**
**طرق الإسقاط المخروطي**




**شكل ٢-١٣**
**طرق الإسقاط السمتي أو المستوي**

وفي الجزء التالي سنستعرض بعض نماذج مساقط الخرائط الشهيرة[20]:

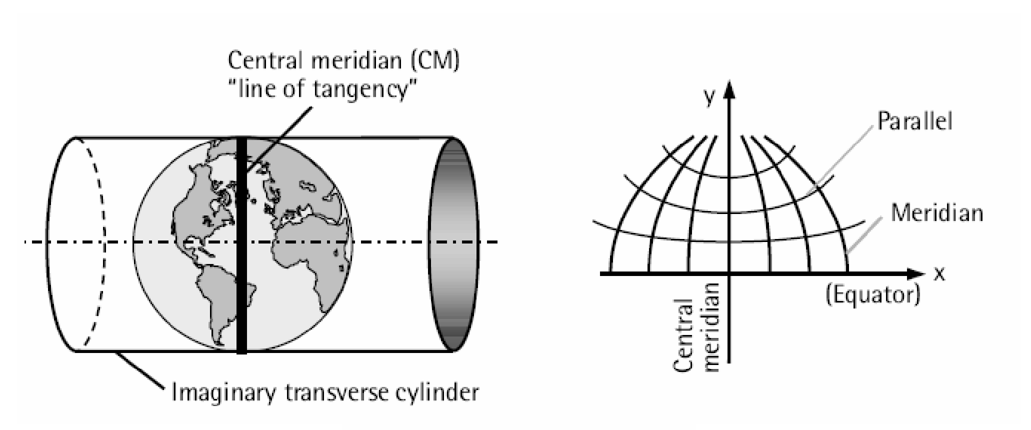
مسقط ميريكاتور Mercator Projection:
مسقط أسطواني يحقق شرط أن خطوط الطول و دوائر العرض تتقاطع في زوايا قائمة تماما. يكون المقياس scale صحيحا عند دائرة الاستواء أو عند دائرتي عرض قياسيتين Standard Parallels علي مسافات متساوية من الاستواء. غالبا يستخدم هذا المسقط في الخرائط البحرية (شكل ٢-١٤).

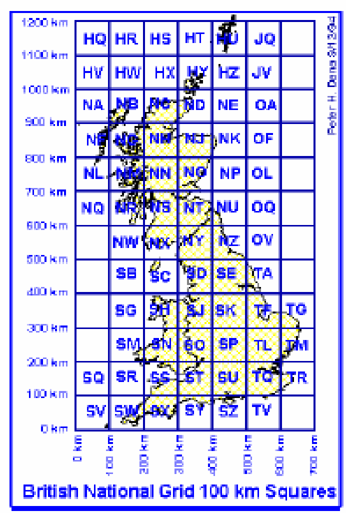


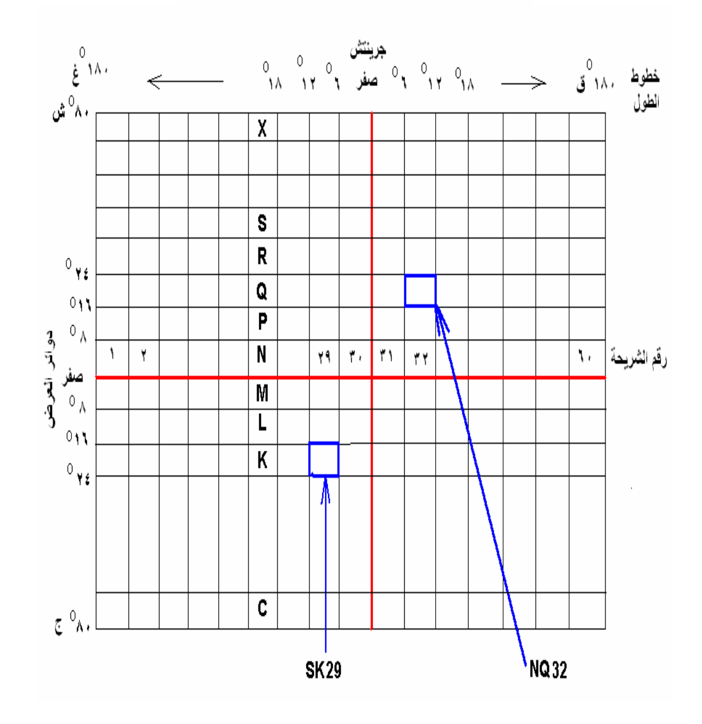

**شكل ٢-١٤**
**مسقط ميركاتور**

مسقط ميريكاتور المستعرض Transverse Mercator Projection:
ينتج هذا المسقط من إسقاط الأرض علي اسطوانة تمسها عند خط طول مركزي Central Meridian. وغالبا يستخدم هذا المسقط للمناطق التي تمتد في اتجاه شمال-جنوب أكبر من امتدادها في اتجاه شرق-غرب. يزداد التشوه (في المقياس و المسافة و المساحة) كلما ابتعدنا عن خط الطول المركزي ، ولذلك نلجأ إلي فكرة الشرائح عند استخدام هذا المسقط حيث يكون عرض الشريحة الواحدة – في اتجاه الشرق – ثلاثة أو أربعة درجات من خطوط الطول بحيث لا يكون مقدار التشوه كبيرا عند أطراف الشريحة التي يقع خط طولها المركزي في منتصفها. مسقط ميريكاتور المستعرض مستخدم في خرائط الكثير من دول العالم مثل مصر و بريطانيا (شكل ٢-١٥).

[20] Dana, P., 2000, Map projection, The Geographer's Craft Project, Department of Geography, The university of Colorado at Boulder,, USA, Available on-line at: http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/


Central meridian (CM)
"line of tangency"
Imaginary transverse cylinder
y
Parallel
Meridian
x
(Equator)
Central meridian


1200 km
1100 km
1000 km
900 km
800 km
700 km
600 km
500 km
400 km
300 km
200 km
100 km
0 km
HQ HR HS HT JQ
HV HW HX HZ JV
NA NE OA
NK OF
NL NP OL
NQ NU OQ
NW OV
SB SE TA
SG SK TG
SM SP TL
SQ SR SU TR
SV SY SZ TV
British National Grid 100 km Squares

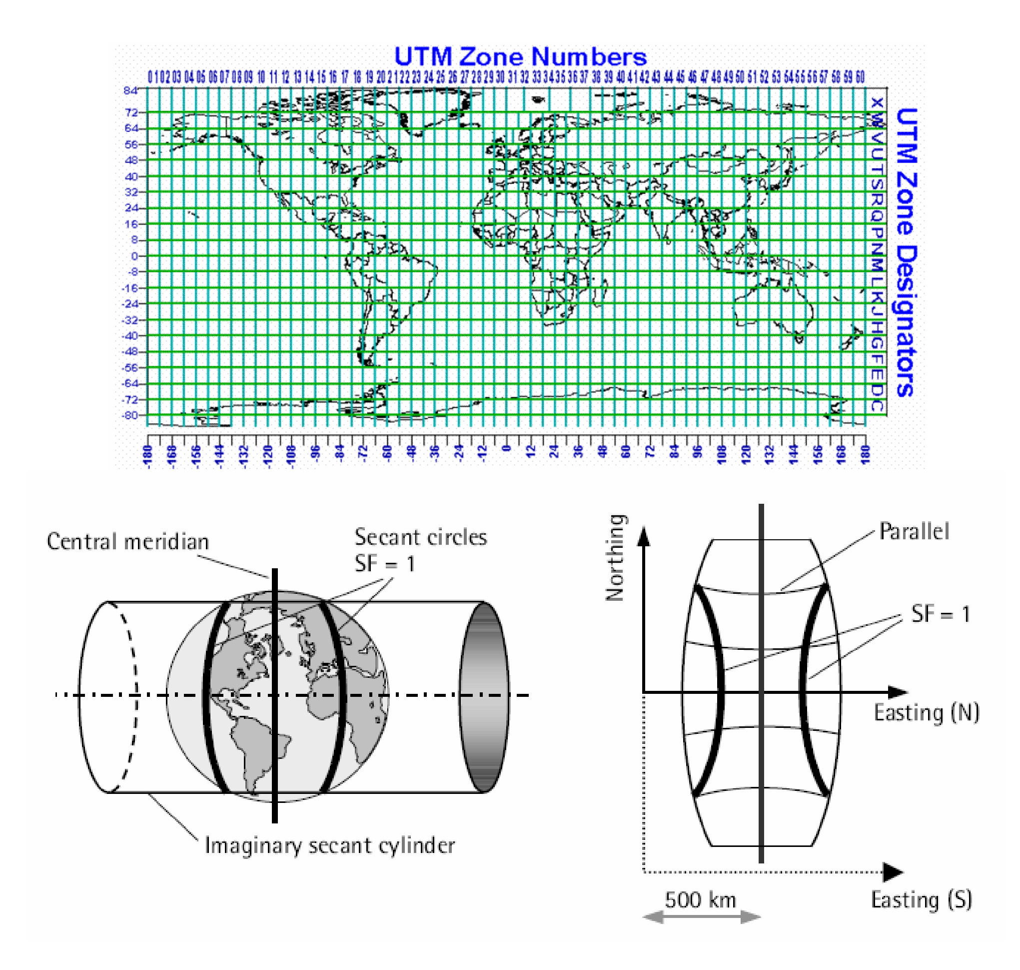

جرينتش
خطوط الطول
١٨٠ غ
١٨٠ ق
صفر
رقم الشريحة
٨٠ ش
٨٠ ج
X
S
R
Q
P
N
M
L
K
C
SK29
NQ32

**شكل ٢-١٥**

## مسقط ميريكاتور المستعرض

**مسقط ميريكاتور المستعرض العالمي Universal Transverse Mercator Projection:**

يعد أشهر أنواع مساقط الخرائط علي المستوي العالمي و يرمز له اختصارا بأحرف UTM. يعتمد مسقط UTM علي إيجاد طريقة لرسم خرائط العالم كله وذلك عن طريق تقسيم الأرض إلي ٦٠ شريحة zones كلا منها يغطي ٦ درجات من خطوط الطول بحيث يكون لكل شريحة مسقط UTM له خط طول مركزي Central Meridian يقع في مركز هذه الشريحة. وتمتد شرائح مسقط UTM من دائرة العرض ٨٠ جنوبا إلي دائرة العرض ٨٤ شمالا. ترقم الشرائح من رقم ١ إلي رقم ٦٠ بدءا من خط الطول ١٨٠° غرب ، بحيث تمتد الشريحة الأولي من ١٨٠° غرب إلي ١٧٤° غرب ويكون خط طولها المركزي central meridian عند ١٧٧° غرب. وتقسم كل شريحة طولية إلي مربعات كل ٨ درجات من دوائر العرض ، بحيث يكون هناك حرف خاص – كاسم - لكل مربع من هذه المربعات ، وتبدأ الحروف من حرف C جنوبا إلي حرف X شمالا مع استبعاد حرفي I و O (شكل ٢-١٦). ويكون معامل المقياس scale factor مساويا ٠.٩٩٩٦ عند خط الطول المركزي ، بحيث مع ازدياد التشوه كلما بعدنا عن خط الطول المركزي فأن أقصي قيمة لمعامل القياس عند أطراف الشريحة ستكون ١.٠٠٠٩٧ عند خط الاستواء أو ١.٠٠٠٢٩ عند دائرة عرض ٤٥° ش[21].



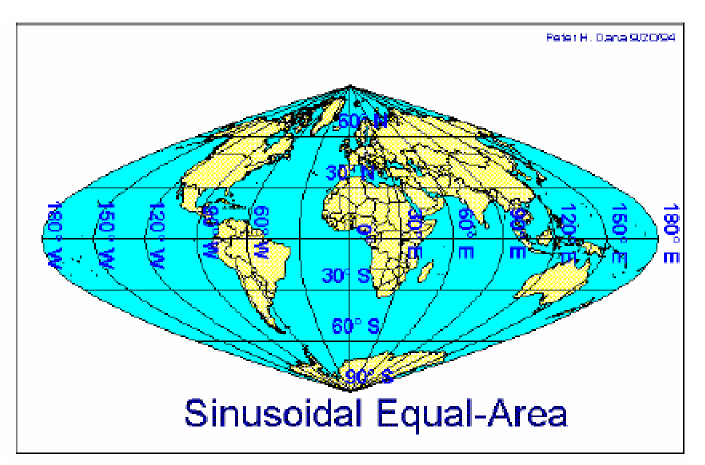

**شكل ٢-١٦**

[21] Al-Rabbany, A., 2002, Introduction to GPS: The Global Positioning System, Artech House, Inc., Boston, USA.

**شرائح مسقط مريكاتور المستعرض العالمي**

مسقط ساينسويدال متساوي المساحات Sinusoidal Equal-Area Projection :

في هذا المسقط الذي يحافظ علي المساحات تتعامد دوائر العرض علي خط الطول المركزي فقط ، بينما مع باقي خطوط الطول فأن دوائر العرض تكون مقوسة بما يشبه منحني جيب الزاوية sin curves (من هنا جاء اسم هذا المسقط: المسقط الجيبي). ويكون مقياس الرسم صحيحا فقط عند خط الطول المركزي و دوائر العرض ، ويستخدم هذا المسقط (شكل ٢-١٧) للمناطق التي تمتد في أنجاه شمال-جنوب.

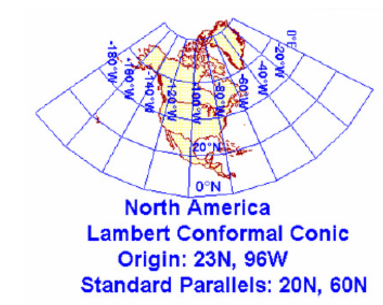


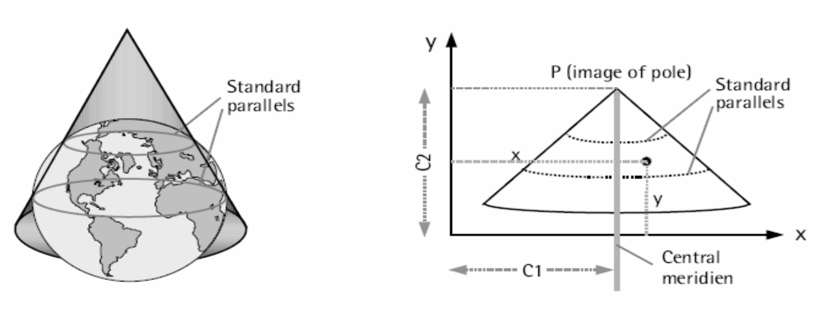

**شكل ٢-١٧**

**مسقط ساينسويدال متساوي المساحات**

مسقط لامبرت المخروطي المتماثل Lambert Conformal Conic Projection:

يستخدم هذا المسقط المخروط (وليس الاسطوانة مثل المساقط السابقة) وفيه تكون المساحات و الأشكال متماثلة عند دائرتي العرض القياسيتين Standard Parallels ويزداد التشوه كلما ابتعدنا عنهما ، كما تكون الاتجاهات صحيحة في مناطق محدودة. و هذا المسقط مستخدم في أمريكا الشمالية (شكل ٢-١٨).



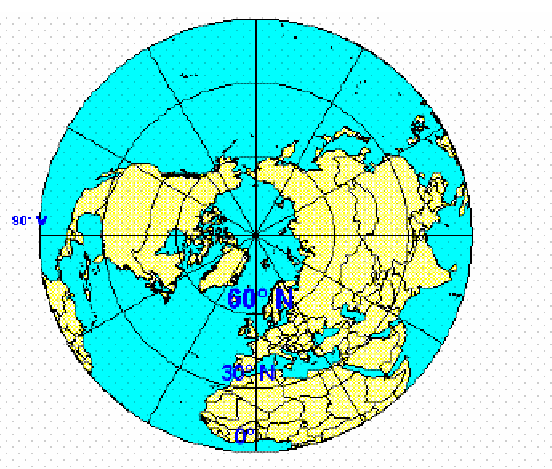




**شكل ٢-١٨**

**مسقط لامبرت المخروطي المتماثل**

مسقط لامبرت السمتي متساوي المساحات Lambert Azimuthal Equal-Area Projection:

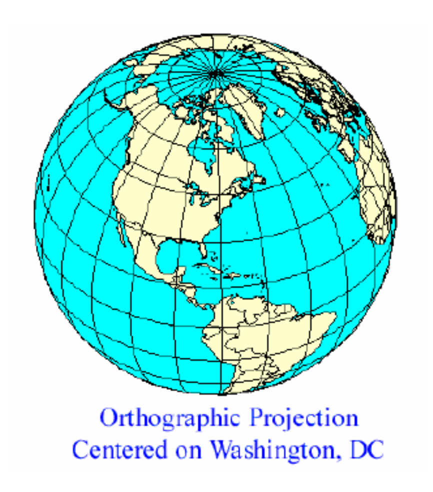
يستخدم هذا المسقط المستوي (وليس الاسطوانة أو المخروط) غالبا لرسم مناطق واسعة من المحيطات. وفيه يكون خط الطول المركزي خطا مستقيما بينما تكون باقي خطوط الطول منحنية (شكل ٢-١٩).




**شكل ٢-١٩**
**مسقط لامبرت السمتي متساوي المساحات**

المسقط الارثوجرافي أو المتعامد Orthographic Projection:

مسقط سمتي أيضا (أي يستخدم المستوي في الإسقاط) يستخدم غالبا لإظهار صورة عامة أو منظور لنصف الكرة الأرضية (شكل ٢-٢٠). وبه يوجد تشوه لكلا من المساحات و الأشكال وتكون المسافات صحيحة علي دائرة الاستواء ودوائر العرض الأخرى.




**شكل ٢-٢٠**
**المسقط المتعامد أو الارثوجرافي**

### ٢-٤-٧ نظم الإحداثيات المسقطة أو المستوية:

الإحداثيات المسقطة Projected Coordinates هي الإحداثيات المستوية ثنائية الأبعاد 2D الناشئة عن تطبيق احدي طرق إسقاط الخرائط ، أي هي إحداثيات أي نقطة علي الخريطة وليس علي سطح الأرض. وغالبا يرمز لها بالاحداثي الشرقي Easting أو اختصارا E و الاحداثي الشمالي Northing أو اختصارا N (البعض يقع في غلطة و يستخدم الرمزين x, y الذين أصبح استخدامهما متعارفا عليه بصورة شائعة للدلالة علي الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية X, Y, Z). وحيث أن طرق إسقاط الخرائط متعددة بصورة كبيرة جدا فسنستعرض هنا مثاليين فقط لنظم إحداثيات مسقطة للتعرف علي كيفية التعامل مع هذه النظم و العناصر المطلوب معرفتها في كل نظام منهما. والمثاليين هما نظام الإحداثيات المصرية كأحد نظم الإحداثيات الوطنية لدولة عربية ، ونظام UTM العالمي المستخدم أيضا في بعض البلاد العربية مثل المملكة العربية السعودية.

#### ٢-٤-٧-١ نظم الإحداثيات المصرية:

<u>(أ) نظام الإحداثيات المصرية ETM</u>

نظام إحداثيات الخرائط المصرية Egyptian Transverse Mercator أو اختصارا ETM هو نظام إسقاط ميريكاتور مستعرض[٢٢]. وحتى يمكن تقليل التشوه في الخرائط فقد تم تقسيم جمهورية مصر العربية إلي أربعة مناطق أو شرائح Zones وتسمي عاده باسم أحزمة Belts (٣ أحزمة). في هذا النظام تم اعتماد المرجع الجيوديسي Geodetic Datum المستخدم في خرائط الهيئة المصرية العامة للمساحة هو اليسويد هلمرت ١٩٠٦ Helmert 1906 (شكل ٢-٢١) [٢٣].

توجد عدة عناصر يجب تعريفها لكل شريحة من شرائح مسقط ميريكاتور المستعرض ، وهذه العناصر تختلف قيمها من دولة لأخرى حتى لو استخدمت الدولتان نفس المسقط. هذه العناصر الخمسة (تسمي معاملات الإسقاط Projection Parameters) تشمل:

- موقع نقطة الأصل للإسقاط Origin والذي يحدد من خلال قيمتين: خط الطول المركزي Central Meridian ودائرة العرض القياسية Standard Parallel.
- لتفادي وجود إحداثيات سالبة (غير مستحبة في الخرائط) فيتم إعطاء قيم إحداثيات مفترضة أو زائفة لنقطة الأصل بدلا من إعطائها الإحداثيات صفر شرقا و صفر شمالا ، وذلك عن طريق تحديد عنصرين آخرين هما: الاحداثي الشرقي الزائف False Easting والاحداثي الشمالي الزائف False Northing.
- العنصر الخامس - من معاملات الإسقاط - المطلوب تحديده هو قيمة معامل مقياس الرسم عند خط الطول المركزي.

---

[22] الحسيني ، صفوت ، ٢٠٠٢ ، الجيوديسيا ، القاهرة ، مصر.

[23] Mugnier, C., 2008a, Grids and Datums: Arab Republic of Egypt, ASPRS Newsletter, November, pp. 1307-1309.

إن معادلات حساب الإحداثيات المسقطة ذاتها (أي معادلات تحويل الإحداثيات الجغرافية أو الجيوديسية إلي إحداثيات الخريطة) معروفة للجميع [24] وأصبحت مبرمجه داخل كل برامج الحاسب الآلي software الخاصة بتطبيقات المساحة و الخرائط و نظم المعلومات الجغرافية. إلا أن المهم في حالة استخدام أي برنامج هو تحديد معاملات الإسقاط الخمسة المطلوبة لهذا النوع من الإسقاط ، فربما نجد بعض البرامج لا تحتوي داخل قواعد بياناتها إسقاط خاص بدولة معينة لكنها تسمح بإنشاء مسقط جديد داخل البرنامج إذا حددنا قيم عناصره الخمسة. بمعني آخر: من الممكن أن نجد برنامج كمبيوتر لا يحتوي علي نظام الإسقاط المصري لكنه يسمح بإنشاء مسقط من نوع ميريكاتور المستعرض إذا قمنا بتحديد قيم العناصر الخمسة المستخدمة في الخرائط المصرية. وتجدر الإشارة إلي أن عناصر الإسقاط لأي دولة لا يمكن استنباطها أو محاولة حسابها لان هذه العناصر افتراضية ومن اختيار الجهة المسئولة عن الخرائط في هذه الدولة ، لأن وللأسف الشديد ما زالت بعض الدول العربية تعتبر قيم عناصر الإسقاط لها من الأسرار التي لا يجوز نشرها!

تجدر الإشارة إلي أنه في بعض برامج الكمبيوتر software يسمي هذا النظام Old Egyptian Datum 1907 أو اختصارا باسم OED 1907. يتميز هذا النظام بقيم عناصر الإسقاط تخص مصر. وتتغير قيم هذه العناصر مع كل حزام (منطقة) من الخرائط المصرية كالآتي:

١- الحزام الأحمر Red Belt:

يغطي هذا الحزام المنطقة الوسطي من مصر وذلك من خط طول ٢٩ شرقا إلي خط طول ٣٣ شرقا. وتكون قيم عناصر نظام ETM في هذا الحزام هي:

| | |
|---|---|
| الاحداثي الشرقي المفترض | False Easting = 615 000 m |
| الاحداثي الشمالي المفترض | False Northing = 810 000 m |
| دائرة العرض | Latitude = $30^{o}$ 0' 0" |
| خط الطول | Longitude = $31^{o}$ 0' 0" |
| معامل مقياس الرسم | Scale on central Meridian = 1.00 |
| عرض المنطقة | Zone width = $4^{o}$ 0' 0" |

٢- الحزام الأزرق Blue Belt:

يغطي هذا الحزام المنطقة الشرقية من مصر وذلك من خط طول ٣٣ شرقا إلي خط طول ٣٧ شرقا. وتكون قيم عناصر نظام ETM في هذا الحزام هي:

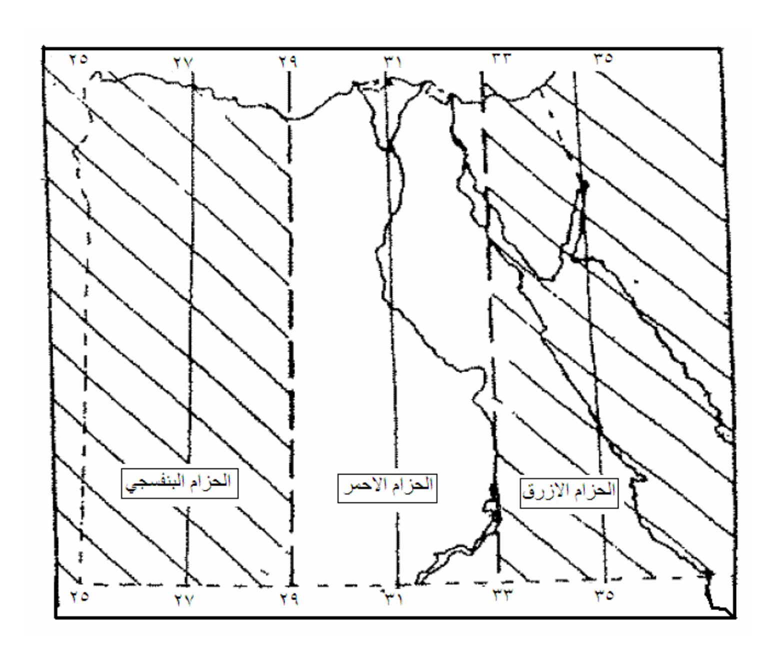
| | |
|---|---|
| الاحداثي الشرقي المفترض | False Easting = 300 000 m |
| الاحداثي الشمالي المفترض | False Northing = 110 000 m |
| دائرة العرض | Latitude = $30^{o}$ 0' 0" |
| خط الطول | Longitude = $35^{o}$ 0' 0" |
| معامل مقياس الرسم | Scale on central Meridian = 1.00 |
| عرض المنطقة | Zone width = $4^{o}$ 0' 0" |

[24] إبراهيم ، نقولا ، ١٩٨٢ ، مساقط الخريطة ، منشأة المعارف ، الإسكندرية ، مصر.

٣- الحزام البنفسجي Purple Belt:

يغطي هذا الحزام المنطقة الغربية في مصر وذلك من خط طول ٢٥ شرقا إلي خط طول ٢٩ شرقا. وتكون قيم عناصر نظام ETM في هذا الحزام هي:

| | |
|---|---|
| الاحداثي الشرقي المفترض | False Easting = 700 000 m |
| الاحداثي الشمالي المفترض | False Northing = 200 000 m |
| دائرة العرض | Latitude = $30^o$ 0' 0" |
| خط الطول | Longitude = $27^o$ 0' 0" |
| معامل مقياس الرسم | Scale on central Meridian = 1.00 |
| عرض المنطقة | Zone width = $4^o$ 0' 0" |




**شكل ٢-٢١**
**شرائح نظام الإسقاط المصري ETM**

تجدر الإشارة إلي وجود شريحة رابعة ثانوية تسمي امتداد الحزام الأحمر Extended Red Belt تغطي المنطقة جنوب مدينة أسوان. أتضح أن قيمة الاحداثي الشمالي المفترض (٨١٠ كيلومتر) لشريحة الحزام الأحمر سيتسبب في وجود إحداثيات شمالية سالبة في هذه المنطقة الجنوبية من الأراضي المصرية (أعتقد أنه لم يكن متخيلا منذ مائة عام أن تتم أي مشروعات مساحية أو إنتاج خرائط لهذه المنطقة أقصي جنوب مصر ولذلك تم اختيار قيمة ٨١٠ كيلومتر و هي تقريبا المسافة من القاهرة إلي أسوان!). وفي هذه الشريحة الرابعة يتم تغيير قيمة الاحداثي الشمالي المفترض من ٨١٠،٠٠٠ متر إلي ١,٠٠٠،٠٠٠ متر.

(ب) نظام الإحداثيات المصرية المطورة MTM

نظرا لانتشار استخدام تقنية GPS في الأعمال المساحية في مصر فقد أعلنت الهيئة المصرية العامة للمساحة منذ عدة أعوام عن تطوير نظام جديد للإحداثيات المستخدمة في الخرائط المصرية وعرف هذا النظام باسم: نظام ميريكاتور المستعرض المعدل Modified Transverse Macerator أو اختصارا باسم MTM (نفس النظام مطبق في بعض أجزاء من كندا أيضا[٢٥]). لم يتم التحول لهذا النظام بصورة رسمية بعد ، إلا أن خرائط بعض المشروعات الجديدة قد تم تطويرها اعتمادا عليه. وسيعتمد نظام MTM علي المرجع الجيوديسي أو اليسويد WGS84 وليس اليسويد هلمرت ١٩٠٦ كالنظام السابق.

مثل النظام السابق سيكون نظام MTM مستخدما لنوع إسقاط الخرائط من نوع ميريكاتور المستعرض ، لكن سيتم تقسيم مصر إلي ٥ شرائح (وليس ٣ فقط في النظام السابق) لتقليل قيمة التشوه إلي أقل ما يمكن للوصول لدقة عالية للخرائط.

توجد عدة عناصر مشتركة بين الشرائح الخمسة كالآتي:

| | |
|---|---|
| الاحداثي الشرقي المفترض | False Easting = 300 000 m |
| الاحداثي الشمالي المفترض | False Northing = 0 m |
| دائرة العرض | Latitude = $0^o$ 0' 0" |
| معامل مقياس الرسم | Scale on central Meridian = 0.9999 |
| عرض المنطقة | Zone width = $3^o$ 0' 0" |

والقيمة الوحيدة التي تتغير من شريحة لآخري هي خط الطول كالآتي:

| | |
|---|---|
| الشريحة رقم ١ | Longitude = $25^o$ 30' 0" |
| الشريحة رقم ٢ | Longitude = $28^o$ 30' 0" |
| الشريحة رقم ٣ | Longitude = $31^o$ 30' 0" |
| الشريحة رقم ٤ | Longitude = $34^o$ 30' 0" |
| الشريحة رقم ٥ | Longitude = $37^o$ 30' 0" |

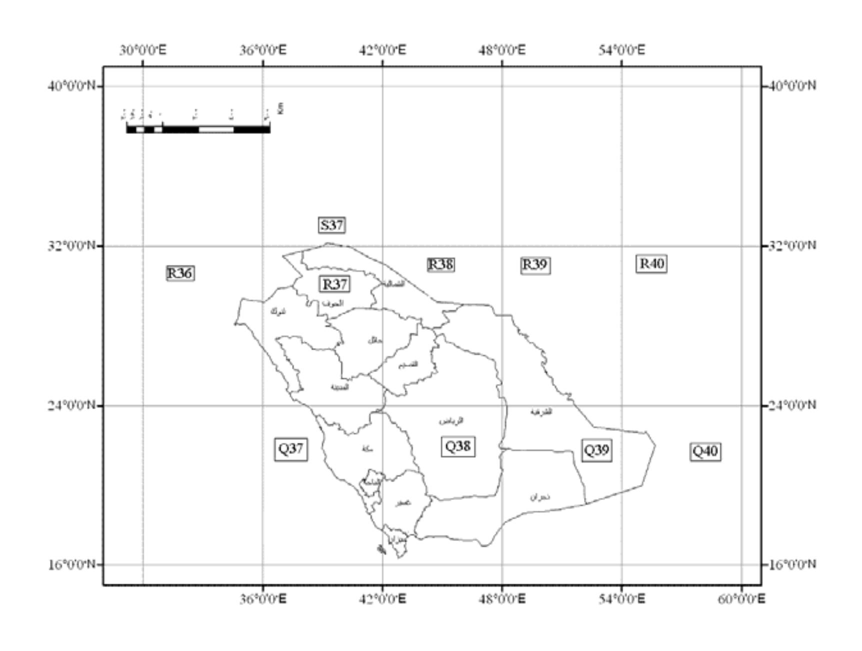
**٢-٤-٧-٢ نظم إحداثيات UTM:**

إضافة لما سبق ذكره في الأجزاء السابقة عن خصائص مسقط UTM فنضيف أيضا أنه لعدم وجود أي إحداثيات سالبة (الوضع غير المستحب في المساحة و الخرائط) فقد تم الأخذ بمبدأ المركز الزائف أو المفترض False Origin. في كل شريحة من شرائح مسقط UTM تقاس الإحداثيات الشرقية من خط الطول المركزي والذي يعطي له إحداثيات شرقية زائفة تساوي ٥٠٠ كم ، بينما تقاس الإحداثيات الشمالية مباشرة من دائرة الاستواء. وهذا الوضع يجعل من المهم جدا في أي خريطة UTM أن نعرف رقم الشريحة التي تعتمد عليها إحداثيات هذه الخريطة (حيث أن قيم الإحداثيات الشرقية ستتكرر من خريطة لآخري تقع معها علي نفس

[25] Al-Rabbany, A., 2002, Introduction to GPS: The Global Positioning System, Artech House, Inc., Boston, USA.

الامتداد من خطوط الطول). إن معادلات حساب إحداثيات UTM بالطريقة التقليدية متاحة في العديد من المراجع [٢٦ و ٢٧]، وهناك أيضا طرق أكثر بساطة من المعادلات التقليدية مثل استخدام متوالية ذات الحدود polynomials التي تجعل حسابات الإحداثيات أبسط و أسرع [٢٨].

تعد المملكة العربية السعودية من الدول التي تعتمد في خرائطها علي نظام UTM ، وقد اعتمدت الاليبسويد العالمي لعام ١٩٢٤ International Ellipsoid 1924 (حيث نصف المحور الأكبر = ٦٣٧٨٣٨٨ متر و التفلطح 1/f = ٢٩٧) كسطح مرجعي في مرجعها الجيوديسي الوطني المسمي عين العبد ١٩٧٠ [٢٩]. وفي معظم برامج الكمبيوتر فمن الممكن الاكتفاء بتحديد رقم الشريحة (لمنطقة معينة) ويقوم البرنامج باستخدام معاملات و معادلات تحويل مسقط UTM المناسبة لهذه المنطقة ليتم تحويل الإحداثيات الجيوديسية أو الجغرافية إلي الإحداثيات المسقطة أو المستوية ، ويقدم شكل ٢-٢٢ أرقام الشرائح التي تغطي المناطق الإدارية للمملكة.




**شكل ٢-٢٢**
**شرائح مسقط UTM للمملكة العربية السعودية**

### ٢-٤-٨ التحويل بين المراجع:

---

[26] Anderson, J. and Mikhail, E., 1998, Surveying: Theory and practice, Seventh Edition, McGraw-Hill, New York, USA.

[27] شكري ، علي ، حسني ، محمود ، رشاد ، محمد ، ١٩٨٩ ، المساحة الجيوديسية ، منشأة المعارف ، الإسكندرية ، مصر.

[28] Ali, A., 2009, Assessment of the polynomials for conversion between geodetic coordinates and the UTM and vice versa, CERM V. 31, N. 3, July, pp. 973-987.

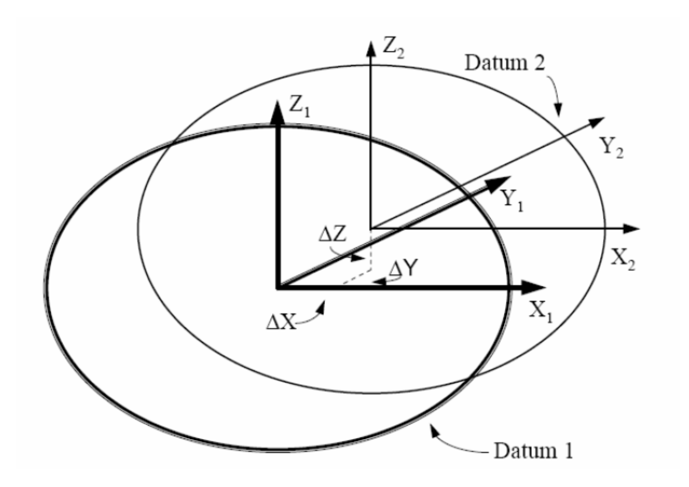
[29] Mugnier, C., 2008b, Grids and Datums: Kingdom of Saudi Arabia, ASPRS Newsletter, August, pp. 949-951.

إن تحويل الإحداثيات بين المراجع الجيوديسية المختلفة أصبح حلقة مهمة من حلقات العمل الجيوديسي في الآونة الأخيرة. فمع ازدياد التعاون التنموي و المشروعات المشتركة بين الدول المتجاورة ومع اختلاف المرجع الجيوديسي المستخدم في خرائط و قاعدة البيانات الجيوديسية لكل دولة ، أصبح لزاما توحيد الإحداثيات و الخرائط في مناطق الحدود ليمكن تنفيذ هذه المشروعات المدنية (مثل مد خطوط الكهرباء أو أنابيب نقل البترول أو إقامة الطرق). أيضا ومع انتشار تطبيقات التقنيات المساحية الحديثة (مثل الجي بي أس) ازدادت أهمية عملية التحويل بين المراجع. فكمثال: تعطي تقنية الجي بي أس إحداثيات النقاط المرصودة علي المجسم العالمي أو اليسويد WGS84 فإذا أردنا توقيع هذه المواقع المرفوعة علي خرائط احدي الدول (التي تعتمد علي اليسويد آخر أو مرجع جيوديسي محلي) فلا بد من تحويل هذه الإحداثيات من اليسويد WGS84 إلي هذا الاليبسويد المحلي ، وإلا فأننا سنرتكب أخطاء قد تصل إلي مئات الأمتار عند توقيع هذه الإحداثيات دون تحويلها.

إن عملية التحويل (أي تحويل الإحداثيات) بين المراجع Datum Shift ليست جديدة في العمل الجيوديسي لكنها قد تمت دراستها منذ قرنين أو أكثر ، وقد تم ابتكار العديد من الحلول الرياضية لتنفيذها. وفي العقدين الأخيرين ظهرت طرق رياضية جديدة ربما تكون أكثر دقة من الطرق التقليدية القديمة.

**٢-٤-٨-١ الطرق التقليدية للتحويل بين المراجع:**

لنبدأ بمثال توضيحي بسيط في حالة التحويل بين نظامي إحداثيات مختلفين لكنهما متوازيين (شكل ٢-٢٣)[30]. لاحظ أننا سنتعامل هنا مع نوع الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية (X,Y,Z) حيث أنها كإحداثيات طولية متعامدة ستكون أسهل من الإحداثيات الجغرافية ($\phi,\lambda,h$) وحيث أن التحويل بين كلا نظامي الإحداثيات قد سبق تناوله في المعادلة (٢-٢).




**شكل ٢-٢٣**
**التحويل بين مرجعين متوازيين**

حيث أن محاور كلا نظامي الإحداثيات في كلا المرجعين متوازية فأن العلاقة بين المرجعين تتحدد بمعرفة موقع مركز المرجع الأول بالنسبة لموقع مركز المرجع الثاني ، أي تحديد فرق

[30] موسي ، أشرف القطب ، ٢٠٠٩، دليل نظم الإحداثيات و علاقتها بنظام إحداثيات خرائط أمانة جدة ، تقرير أمانة محافظة جدة ، المملكة العربية السعودية.

الإحداثيات بين موقع (أو إحداثيات) النقطة علي المرجع الأول وموقعها أو إحداثياتها علي المرجع الثاني. وهذا الفرق يتحدد من خلال ثلاثة مركبات $\Delta X,\ \Delta Y,\ \Delta Z$ (ينطق الحرف اللاتيني $\Delta$ دلتا) والتي تسمي عناصر النقل Translation Parameters:

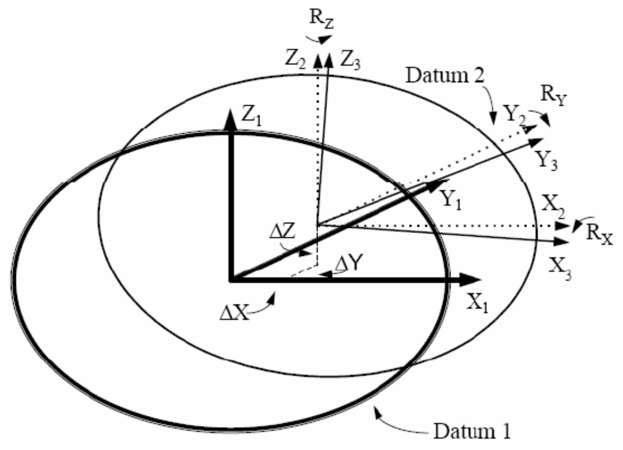
$$\Delta X = X2 - X1$$
$$\Delta Y = Y2 - Y1 \qquad (2\text{-}6)$$
$$\Delta Z = Z2 - Z1$$

فإذا علمنا إحداثيات نقطة واحدة علي المرجع الأول (X1,Y1,Z1) وإحداثياتها علي المرجع الثاني (X2,Y2,Z2) فيمكننا حساب فرق الإحداثيات باستخدام المعادلة السابقة. فإذا كان لدينا نقطة جديدة معلوم إحداثياتها علي المرجع الأول (X,Y,Z) فيمكن تحويلها إلي المرجع الثاني (X',Y',Z') بكل سهولة:

$$X' = X + \Delta X$$
$$Y' = Y + \Delta Y \qquad (2\text{-}7)$$
$$Z' = Z + \Delta Z$$

أي أن كل ما نحتاج إليه في هذه الحالة (الفرض بأن المرجعين متوازيي المحاور) هو معرفة إحداثيات نقطة واحدة علي الأقل في كلا النظامين.

لكن الحالة العامة للعلاقة بين أي مرجعين أو البسويدين أن وضعهما لن يكون متوازي المحاور ، بل أن محاور أحدهما ستكون مائلة علي محاور الآخر. كما أن حجم الاليبسويد الأول ليس بالضرورة أن يكون مساويا لحجم الاليبسويد الثاني. وبالتالي فبدلا من وجود ثلاثة عناصر فقط مطلوب تحديدهم ($\Delta X,\ \Delta Y,\ \Delta Z$) كما في الحالة البسيطة السابقة فسينتج لدينا ٤ عناصر أخري: ثلاثة لتحديد فروق الميل بين المحاور الثلاثة في كل مرجع وتسمي عناصر الدوران Rotation Parameters ، بالإضافة لعنصر يحدد فرق الحجم بين كلا المرجعين ويسمي معامل القياس scale factor (شكل ٢-٢٤).




**شكل ٢-٢٤**

**التحويل بين أي مرجعين**

وكما نري في هذا الشكل سنجد أن العناصر الجديدة المطلوبة هي:

- زاوية الدوران (أو الفرق) بين محوري X في كلا المرجعين ، ونرمز لها Rx
- زاوية الدوران (أو الفرق) بين محوري Y في كلا المرجعين ، ونرمز لها Ry
- زاوية الدوران (أو الفرق) بين محوري Z في كلا المرجعين ، ونرمز لها Rz
- بالإضافة للعنصر الرابع scale factor الذي يحدد فرق معامل القياس بين كلا المرجعين ونرمز له عادة بالرمز s.

أي أننا لتحديد العلاقة الفراغية (المكانية) بين أي مرجعين في الحالة العامة يلزمنا تحديد ٧ عناصر $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z, Rx, Ry, Rz, s)$ وهي ما نطلق عليها اسم عناصر التحويل Transformation Parameters بين المراجع الجيوديسية. وفي هذه الحالة لا يمكننا الاعتماد علي توافر نقطة واحدة فقط معلومة (كما في الحالية البسيطة السابقة) لكن يلزمنا وجود ٣ نقاط – علي الأقل – معلوم إحداثياتهم في كلا المرجعين. فإذا كان لدينا معلومات لأكثر من ٣ نقاط زادت دقة الحل المطلوب لتحديد عناصر التحويل السبعة ، كما أن دقة تحديد العناصر تعتمد علي دقة إحداثيات النقاط المعلومة في كلا المرجعين. وهذين السببين وراء وجود أكثر من مجموعة منشورة و معلنة من عناصر التحويل بين مرجعين محددين ، فمعادلات التحويل ثابتة لكن عدد و جودة البيانات المستخدمة في الحساب ستؤدي لقيم متفاوتة لعناصر التحويل بين نفس المرجعين.

توجد عدة نماذج من المعادلات التي تسمح بالتحويل بين المراجع المختلفة و من أشهر هذه النماذج نموذج بورسا-وولف Bursa-Wolf ونموذج مولودينسكس-بادكس Molodenskii-Badekas. وتتمثل معادلات نموذج بورسا-وولف في:

$$\begin{vmatrix} X1 \\ Y1 \\ Z1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{vmatrix} + s \begin{vmatrix} 1 & Rz & -Ry \\ -Rz & 1 & Rx \\ Ry & -Rx & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} X2 \\ Y2 \\ Z2 \end{vmatrix} \qquad (2\text{-}8)$$

حيث X1,Y1,Z1 تمثل إحداثيات النقطة في المرجع الأول ، X2,Y2,Z2 تمثل إحداثيات النقطة في المرجع الثاني ، $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ تمثل عناصر الانتقال بين المرجعين ، Rx, Ry, Rz تمثل زوايا الدوران أو عناصر الدوران بين المرجعين ، ويمثل s معامل القياس بينهما.

كما يمكن أن تتم عملية تحويل المراجع باستخدام الإحداثيات الجغرافية ، والمعادلات التالية تقدم طريقة التحويل من أي مرجع محلي إلي مرجع WGS84 العالمي المستخدم في أرصاد تقنية الجي بي أس[٣١]:

$$\phi_{84} = \phi_L + \Delta\phi$$
$$\lambda_{84} = \lambda_L + \Delta\lambda \qquad (2\text{-}9)$$

[31] US National Imagery and Mapping Agency (NIMA), 2000, Department of Defense World Geodetic System 1984: Its definition and relationships with local geodetic system, Technical Report TR8350.2, Third Edition, Washington, DC, USA.

$h_{84} = h_L + \Delta h$

حيث $\phi_{84}, \lambda_{84}, h_{84}$ تمثل الإحداثيات علي مجسم WGS84 ، $\phi_L, \lambda_L, h_L$ تمثل الإحداثيات علي المجسم المحلي.

$$\Delta\phi'' = \{ -\Delta X \sin\phi \cos\lambda - \Delta Y \sin\phi \sin\lambda + \Delta Z \cos\phi + \Delta a ( R_N e^2 \sin\phi \cos\lambda ) / a + \Delta f [ R_M (a/b) + R_N (b/a) ] \sin\phi \cos\lambda \} / ( [ R_M + h ] \sin 1'' ) \quad (2\text{-}10)$$

$$\Delta\lambda'' = [ -\Delta X \sin\lambda + \Delta Y \cos\lambda ] / [ ( R_N + h ] \cos\phi \sin 1'' ] \quad (2\text{-}11)$$

$$\Delta h = \Delta X \cos\phi \cos\lambda + \Delta Y \cos\phi \sin\lambda + \Delta Z \sin\phi - \Delta a ( a/R_N) + \Delta f (b/a) R_N \sin^2\phi \quad (2\text{-}12)$$

حيث:

a, b هما قيم نصف المحور الأكبر و نصف المحور الأصغر للمرجع المحلي ، f تفلطح المرجع المحلي ،

$\Delta a, \Delta f$ هما الفرق بين نصف المحور الأكبر و التفلطح لمرجع WGS84 ناقص القيم المماثلة للمرجع المحلي ،

$$b/a = 1 - f \quad (2\text{-}13)$$

$$e^2 = 2f - f^2 \quad (2\text{-}14)$$

$$R_N = a / ( 1 - e^2 \sin^2\phi )^{1/2} \quad (2\text{-}15)$$

$$R_M = a(1 - e^2) / ( 1 - e^2 \sin^2\phi )^{3/2} \quad (2\text{-}16)$$

توجد العديد من قيم عناصر التحويل المعلنة أو المنشورة وخاصة مع انتشار تطبيقات تقنية الجي بي أس التي تعتمد إحداثياتها علي المجسم العالمي WGS84. يقدم جدول (٢-٢) قيم عناصر التحويل من بعض المراجع الوطنية في الدول العربية إلي مرجع WGS84 [٣٢]:

[32] US National Imagery and Mapping Agency (NIMA), 2000, Department of Defense World Geodetic System 1984: Its definition and relationships with local geodetic system, Technical Report TR8350.2, Third Edition, Washington, DC, USA.

**جدول ٢-٢**

**عناصر التحويل بين المرجع الجيوديسي العالمي WGS84 والمراجع الجيوديسية المحلية**

| الدولة | المرجع الوطني | الاليبسويد | عدد النقاط المستخدمة | عناصر التحويل (بالمتر) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | D X | D Y | D Z |
| السودان | Adindan | Clark 1880 | ٢٢ | ١٦٦- (٥) | ١٥- (٥) | ٢٠٤ (٣) |
| تونس | Carthage | Clark 1880 | ٥ | ٢٦٣- (٦) | ٦ (٩) | ٤٣١ (٨) |
| | European 1950 | International 1924 | ٤ | ١١٢- (٢٥) | ٧٧- (٢٥) | ١٤٥- (٢٥) |
| المغرب | Merchich | Clark 1880 | ٩ | ٣١ (٥) | ١٤٦ (٣) | ٤٧ (٣) |
| الجزائر | North Sahara 1959 | Clark 1880 | ٣ | ١٨٦- (٢٥) | ٩٣- (٢٥) | ٣١٠ (٢٥) |
| | Voirol 1960 | Clark 1880 | ٢ | ١٢٣- (٢٥) | ٢٠٦- (٢٥) | ٢١٩ (٢٥) |
| مصر | Old Egyptian 1906 | Helmert 1906 | ١٤ | ١٣٠- (٣) | ١١٠ (٦) | ١٣- (٨) |
| البحرين | Ain El Abd 1970 | International 1924 | ٢ | ١٥٠- (٢٥) | ٢٥٠- (٢٥) | ١- (٢٥) |
| السعودية | Ain El Abd 1970 | International 1924 | ٩ | ١٤٣- (١٠) | ٢٣٦- (١٠) | ٧ (١٠) |
| الإمارات | Nahrwan | Clark 1880 | ٢ | ٢٤٩- (٢٥) | ١٥٦- (٢٥) | ٣٨١ (٢٥) |
| عمان | Nahrwan | Clark 1880 | ٢ | ٢٤٧- (٢٥) | ١٤٨- (٢٥) | ٣٦٩ (٢٥) |
| | Oman | Clark 1880 | ٧ | ٣٤٦- (٣) | ١- (٣) | ٢٢٤ (٩) |
| قطر | Qatar National | International 1924 | ٣ | ١٢٨- (٢٠) | ٢٨٣- (٢٠) | ٢٢ (٢٠) |

| العـــراق والكويـت و الأردن و ولبنـان و سوريا | European 1950 | International 1924 | ؟ | -١٠٣ | -١٠٦ | -١٤١ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| تـونس و الجزائر | Voirol 1874 | Clark 1880 | ؟ | -٧٣ | -٢٤٧ | ٢٢٧ |

لكن يجب مراعاة الملاحظات التالية علي قيم هذا الجدول:

١. قيم العناصر المذكورة هي للتحويل من المرجع المحلي إلي مرجع WGS84 وللتحويل من WGS84 إلي المرجع المحلي يجب عكس جميع الإشارات الجبرية (موجب بدلا من سالب و العكس).
٢. القيم المذكورة لثلاثة عناصر فقط (وليس سبعة) وبالتالي فهي أقل دقة.
٣. الجدول يوضح أيضا عدد نقاط الثوابت المساحية التي تم استخدامها في حساب هذه العناصر لكل مرجع محلي.
٤. العدد المذكور بين القوسين هو مؤشر للدقة المتوقعة لقيمة كل عنصر من عناصر التحويل.
٥. القيم في آخر سطرين من الجدول تم حسابها بطرق أخري بخلاف رصد نقاط ثوابت مساحية وبالتالي فأن قيم الدقة المتوقعة غير متاحة.

منذ سنوات عديدة يقوم الباحثون الجيوديسيون في كل دولة بحساب قيم عناصر التحويل كلما توفرت لديهم بيانات نقاط جيوديسية معلوم إحداثياتها في كلا المرجعين (المحلي و WGS84). وتختلف دقة عناصر التحويل من دراسة لآخري طبقا لعدد النقاط المعلومة و توزيعها ودقة إحداثياتها المستخدمة في حساب عناصر التحويل ، وذلك بهدف الوصول لأدق قيم لهذه العناصر مما يسهل عملية تحويل إحداثيات الجي بي أس إلي المراجع الوطنية المستخدمة في إنتاج الخرائط لكل دولة. علي سبيل المثال توجد العديد من قيم عناصر التحويل المنشورة في جمهورية مصر العربية منهم العناصر التالية[٣٣] للتحويل من WGS84 إلي هلمرت ١٩٠٦:

$\Delta X = 123.842 \pm 0.96$ m
$\Delta Y = -114.878 \pm 0.96$ m
$\Delta Z = 9.590 \pm 0.96$ m
$Rx = -1.35314 \pm 0.17$ "
$Ry = -1.67408 \pm 0.35$ "
$Rz = 5.24269 \pm 0.30$ "
$s = -5.466 \pm 0.78$ ppm (part per million)

[33] Dawod, G., and Alnaggar, D., 2000, Optimum geodetic datum transformation techniques for GPS surveys in Egypt, Proceedings of Al-Azhar Engineering Sixth International Engineering Conference, Al-Azhar University, September 1-4, Volume 4, pp. 709-718.

كما توجد قيم أخري نشرت حديثا (للتحويل من هلمرت ١٩٠٦ إلي WGS84) وتتكون من[٣٤]:

ΔX = -88.832 ± 0.02 m
ΔY = 186.714 ± 0.03 m
ΔZ = 151.82 ± 0.01 m
Rx = -1.305 ± 2.21 "
Ry = 11.216 ± 1.57 "
Rz = -6.413 ± 1.84 "
s = -6.413 ± 1.84 ppm (part per million)

أيضا توجد قيم منشورة لعناصر التحويل في السودان (للتحويل من اليبسويد Adindan إلي WGS84) باستخدام نموذج مولودينسكي وتتكون من[٣٥]:

ΔX = -146.0 ± 0.89 m
ΔY = -33.5 ± 0.89 m
ΔZ = 205,3 ± 89 m
Rx = -1.64 ± 1.87 "
Ry = 2.18 ± 1.87 "
Rz = -14.8 ± 2.6 "
s = -1.34 ± 1.35 ppm (part per million)

**٢-٤-٨-٢ الطرق غير التقليدية للتحويل بين المراجع:**

عابت الطرق التقليدية للتحويل بين المراجع الجيوديسية عدة نقاط تقلل من دقة عناصر التحويل التي يتم حسابها باستخدام هذه الطرق. أهم هذه العيوب أن نظريات تطوير هذه النماذج الرياضية تعتمد علي فرضية أن إحداثيات النقاط المعلومة في كلا المرجعين – المطلوب التحويل بينهما – هي إحداثيات دقيقة تماما و خاليا من أي مصدر من مصادر الأخطاء Error-Free. لكن هذا الوضع غير صحيح تماما ، فمن المعروف أن معظم الشبكات الجيوديسية المحلية بها عيوب عديدة من وجهة النظر التقنية نظرا لان معظم هذه الشبكات قد تم إقامتها في النصف الأول من القرن العشرين أو قبل ذلك حيث لم تكن الأجهزة المساحية بلغت مرحلة عالية

---

34 Shaker, A., Saad, A., El-Sayed, M., and Ali, A., 2007, Remove-restore technique for improving the datum transformation process, Proceedings of the FIG working week conference, Honk Kong, China, May 13-17. Available from: http://www.fig.net/pub/fig2007/papers/ts_3b/ts03b_03_saad_etal_1218.pdf

35 Ahamed, A. and Abdalla, K., 2006, Transformation of the Transit (Doppler) and GPS stations to Adindan datum, Sudan Engineering Society' Journal, V. 52, No. 47, September, pp. 15-23. Available at: http://www.ses-sudan.org/english/SESpublications/ses_jour/47/1523GozouliSESformat2.pdf

من الدقة قبل بدء ثورة الملاحة بالأقمار الصناعية. كما أن عدم وجود حاسبات آلية متطورة في ذلك الوقت أدي لإتمام العمليات الحسابية و ضبط الشبكات بطريقة غير دقيقة بنسبة كبيرة. ذلك بالإضافة إلي أن دقة الشبكات الجيوديسية في أي مرجع وطني تختلف من منطقة جغرافية لآخري (حيث لم يمكن تغطية دولة كاملة بشبكات جيوديسية إلا مع مرور بضعة سنوات) وهذا أيضا يعد العامل الثالث الذي لا تأخذه الطرق التقليدية في الاعتبار. وإذا أخذنا مصر كمثال فسنجد أن دقة الإحداثيات الجيوديسية لشبكات المثلثات الوطنية ذات الدرجة الأولي كانت أكبر من ٠.٥ متر ، وهذه دقة متواضعة عند مقارنتها بدقة الإحداثيات الناتجة الآن من استخدام تقنية الجي بي أس والتي قد تصل إلي سنتيمترات وأحيانا ملليمترات. وبالتالي فأن استخدام الطرق التقليدية لحساب عناصر التحويل بين مرجع WGS84 – علي سبيل المثال - وأي مرجع محلي سيؤدي للحصول علي دقة ديسيمترات عند حساب عناصر التحويل بين هذين المرجعين. ومن هنا بدأ منذ سنوات البحث عن طرق جديدة غير تقليدية لتحويل الإحداثيات بين المراجع الجيوديسية ، أو البحث عن وسائل جديدة تتيح زيادة دقة النماذج الرياضية التقليدية. وهناك العشرات من الطرق والوسائل التي تم تطويرها في هذا المجال و سنستعرض هنا البعض منهم.

أولي هذه الطرق غير التقليدية هو تمثيل الفروق بين الإحداثيات علي المرجعين فراغيا spatial representation في صورة نموذج رياضي يغطي منطقة جغرافية معينة. وأهم ما يميز هذا الأسلوب أنه يستخدم الإحداثيات علي كلا المرجعين (للنقاط المشتركة) كما هي وبالتالي فأن قيمة الفروق ستتغير من مكان جغرافي لآخر داخل المنطقة المطلوبة ولن تكون العلاقة الرياضية بين كلا المرجعين علاقة ثابتة علي امتداد هذه المنطقة كما كان الحال في الطرق التقليدية. وطبقت وزارة الدفاع الأمريكية هذا المبدأ في استنباط ما يسمي سطوح التحويل conversion surfaces بين مرجع WGS84 والمراجع الجيوديسية الوطنية لمعظم دول العالم[٣٦]. وتختلف طرق تمثيل الفروق باختلاف النماذج الرياضية المستخدمة ، وتعد طريقة ذات الحدود polynomial أكثر النماذج تطبيقا ، مع اختلاف عدد المعاملات في المتوالية الرياضية والتي تعتمد علي كم النقاط المشتركة المتاحة وذلك بتطبيق مبدأ الانحدار المتعدد Multiple Regression [٣٧]. تم تطبيق هذا الأسلوب في مصر لاستنباط معادلات رياضية وسطح تحويل بين مرجعي WGS84 و هلمرت ١٩٠٦ وكانت النتائج كالتالي (شكل ٢-٢٥ و ٢-٢٦)[٣٨]:

$$\Delta\phi'' = -320.474 + 30.6751\,\phi_{84} + 3.0402\,\lambda_{84} - 1.7380\,\phi^2_{84} + 0.0436\,\phi^3_{84} - 0.0004\,\phi^4_{84} - 0.1056\,\lambda^2_{84} + 0.0012\,\lambda^3_{84} \quad (2\text{-}17)$$

[36] US National Imagery and Mapping Agency (NIMA), 2000, Department of Defense World Geodetic System 1984: Its definition and relationships with local geodetic system, Technical Report TR8350.2, Third Edition, Washington, DC, USA.

[37] Shaker, A., Saad, A. , Al-sagheer, A., and Abd alhay, A. , 2003, Comparative study for different transformation models applied on geodetic coordinate systems, Civil Engineering Research Magazine (CERM), V. 25, No. 3, pp.1562-1590.

[38] Dawod, G., and Alnaggar, D., 2000, Optimum geodetic datum transformation techniques for GPS surveys in Egypt, Proceedings of Al-Azhar Engineering Sixth International Engineering Conference, Al-Azhar University, September 1-4, Volume 4, pp. 709-718.

$$\Delta\lambda'' = 4357.7294 - 734.6377\,\lambda_{84} + 49.4639\,\lambda^2_{84} - 0.1705\,\phi_{84} - 1.6600\lambda^3_{84} + 0.0278\,\lambda^4_{84} + 0.0037\,\phi^2_{84} - 0.0002\,\lambda^5_{84} \quad (2\text{-}18)$$

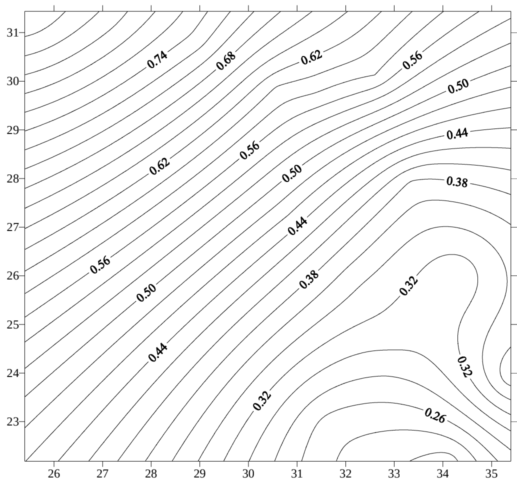
حيث $\Delta\phi$ و $\Delta\lambda$ هما الفرق بالثواني في دوائر العرض و خطوط الطول – بالترتيب – بين المرجعين ، و $\phi_{84}$ , $\lambda_{84}$ هما الإحداثيات الجغرافية علي مجسم WGS84.

ومن ثم يمكن تحويل الإحداثيات الجغرافية إلي المرجع المحلي المصري هلمرت ١٩٠٦ من خلال:

$$\phi_{OED} = \phi_{84} + \Delta\phi \quad (2\text{-}19)$$

$$\lambda_{OED} = \lambda_{84} + \Delta\lambda \quad (2\text{-}20)$$

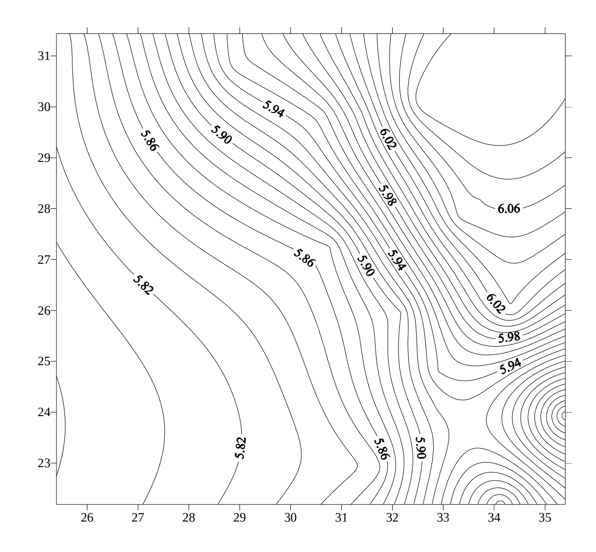
حيث $\phi_{OED}$ , $\lambda_{OED}$ هما الإحداثيات الجغرافية علي مجسم هلمرت ١٩٠٦. هذا وقد أثبتت نتائج اختبار هذا الأسلوب علي نقاط تحكم check points جيوديسية في مصر أن دقة الأسلوب الجديد (عند حساب الإحداثيات الوطنية المحلية) تقدر بحوالي ٠.٥ متر مقارنة بدقة حوالي ٣.٠ متر للطريقة التقليدية. كما تم تقديم مقترح باستخدام هذا الأسلوب غير التقليدي و تطبيقه في سوريا[٣٩].




**شكل ٢-٢٥**

**سطح تحويل دوائر العرض بين WGS84 و هلمرت ١٩٠٦ في مصر**

39 Habib, M. and Abu Rabah, R., 2006, An alternative approach for making maps compatible with GPS, Damascus University Journal, Vol. 22, No. 1, pp. 13-29.




**شكل ٢-٢٦**

**سطح تحويل خطوط الطول بين WGS84 و هلمرت ١٩٠٦ في مصر**

طريقة أخري من الطرق غير التقليدية في التحويل بين المراجع تعتمد علي استخدام أوزان مختلفة Different Weights لإحداثيات النقاط المشتركة المستخدمة في تقدير عناصر التحويل بين المرجعين[40]. المبدأ الأساسي وراء هذا الأسلوب هو أن دقة إحداثيات النقاط المشتركة ستختلف من نقطة لآخري وبالتالي يجب تحديد وزن محدد يتناسب مع دقة كل نقطة وذلك أثناء تطبيق أي نموذج من النماذج التقليدية (مثل نموذج بورسا - وولف) ، أي أن هذا الأسلوب هو تعديل للطريقة التقليدية بهدف زيادة جودتها في وصف العلاقة الرياضية بين مرجعين جيوديسين. كما تم أيضا تطبيق طريقة العنصر المحدد Finite Element [41] كأحد الطرق غير التقليدية في التحويل بين المراجع الجيوديسية.

### ٢-٤-٨-٣ التحويل بين المراجع ثلاثية و رباعية الأبعاد:

في معظم التطبيقات المساحية و الخرائطية باستخدام تقنية الجي بي أس فأننا نحصل علي إحداثيات ثلاثية الأبعاد 3D علي الاليبسويد العالمي WGS84 الذي يمثل شكل و حجم الأرض. لكن في التطبيقات الجيوديسية عالية الدقة (مثل مراقبة تحركات القشرة الأرضية ومراقبة هبوط المنشئات الضخمة) لا نكتفي بالتعامل مع الإحداثيات ثلاثية الأبعاد كقيم ثابتة لكن نحتاج لإطار مرجعي رباعي الأبعاد (متغير مع الزمن) لتنسب له هذه الإحداثيات. وأفضل مرجع رباعي الأبعاد هو الإطار المرجعي الأرضي العالمي ITRF كما تناولنا سابقا في ٢-٤-٤. وتجدر الإشارة لوجود عدة تعريفات لاليبسويد WGS84 إلا أن آخر تعديل له هو المسمي

---

[40] Shaker, A., Saad, A., El-Sayed, M., and Ali, A., 2007, Remove-restore technique for improving the datum transformation process, Proceedings of the FIG working week conference, Honk Kong, China, May 13-17. Available from: http://www.fig.net/pub/fig2007/papers/ts_3b/ts03b_03_saad_etal_1218.pdf

[41] Kohli, A. and Jennim L., 2008, Transformation of cadastral data between geodetic reference frames using finite element method, Proceedings of the FIG working week conference, Stockholm, Sweden, June 14-19.

G730 هو المستخدم في استنباط إحداثيات الجي بي أس ، و هذا التعديل متوافق مع إطار ITRF92 في حدود ١٠ سم[٤٢]. أما لتحويل الإحداثيات من اليبسويد (WGS84(G730 إلي ITRF بتعريفاته الأحدث نستخدم المعادلات التالية[٤٣]:

$$\begin{vmatrix} XS \\ YS \\ ZS \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} X \\ Y \\ Z \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} T1 \\ T2 \\ T3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} D & -R3 & R2 \\ R3 & D & -R1 \\ -R2 & R1 & D \end{vmatrix} \begin{vmatrix} X \\ Y \\ Z \end{vmatrix} \qquad (2\text{-}21)$$

حيث X, Y, Z تمثل الإحداثيات علي إطار ITRF2000 و XS, YS, ZS تمثل الإحداثيات علي WGS84.

ولحساب قيمة أي عنصر P عند الزمن t فأننا نستخدم المعادلة:

$$P(t) = P(EPOCH) + P' (t - EPOCH) \qquad (2\text{-}22)$$

حيث EPOCH هي سنة تعريف إطار ITRF المطلوب ، 'P تمثل معدل تغير هذا العنصر.

أولا: التحويل من ITRF2000 إلي ITRF92:

T1 = 1.47 cm, rate = 0.00 cm/year
T2 = 1.35 cm, rate = - 0.06 cm/year
T3 = -1.39 cm, rate = - 0.14 cm/year
D = 0.75 ppb, rate = 0.01 ppb/year (ppb = part per billion)
R1 = 0.00 " , rate = 0.00 "/year
R2 = 0.00 " , rate = 0.00 "/year
R3 = - 0.0018 " , rate = 0.0002 "/year
EPOCH = 1988.0

ثانيا: التحويل من ITRF2005 إلي ITRF2000:

T1 = 0.1 mm, rate = -0.2 mm/year
T2 = -0.8 mm, rate = 0.1 mm/year
T3 = -5.8 mm, rate = - 1.8 mm/year
D = 0.4 ppb, rate = 0.08 ppb/year (ppb = part per billion)
R1 = 0.000 " , rate = 0.000 "/year

[42] US National Imagery and Mapping Agency (NIMA), 2000, Department of Defense World Geodetic System 1984: Its definition and relationships with local geodetic system, Technical Report TR8350.2, Third Edition, Washington, DC, USA.

[43] International Terrestrial Reference Frame (ITRF) website at: http://itrf.ensg.ign.fr/

R2 = 0.000 " , rate = 0.000 "/year
R3 = 0.000 " , rate = 0.000 "/year
EPOCH = 2000.0

كما توجد قيم منشورة لعناصر التحويل بين كل تعريفات ITRF في السنوات الأخيرة [٤٤].

**٢-٤-٩ العلاقة بين تحويل المراجع و إسقاط الخرائط:**

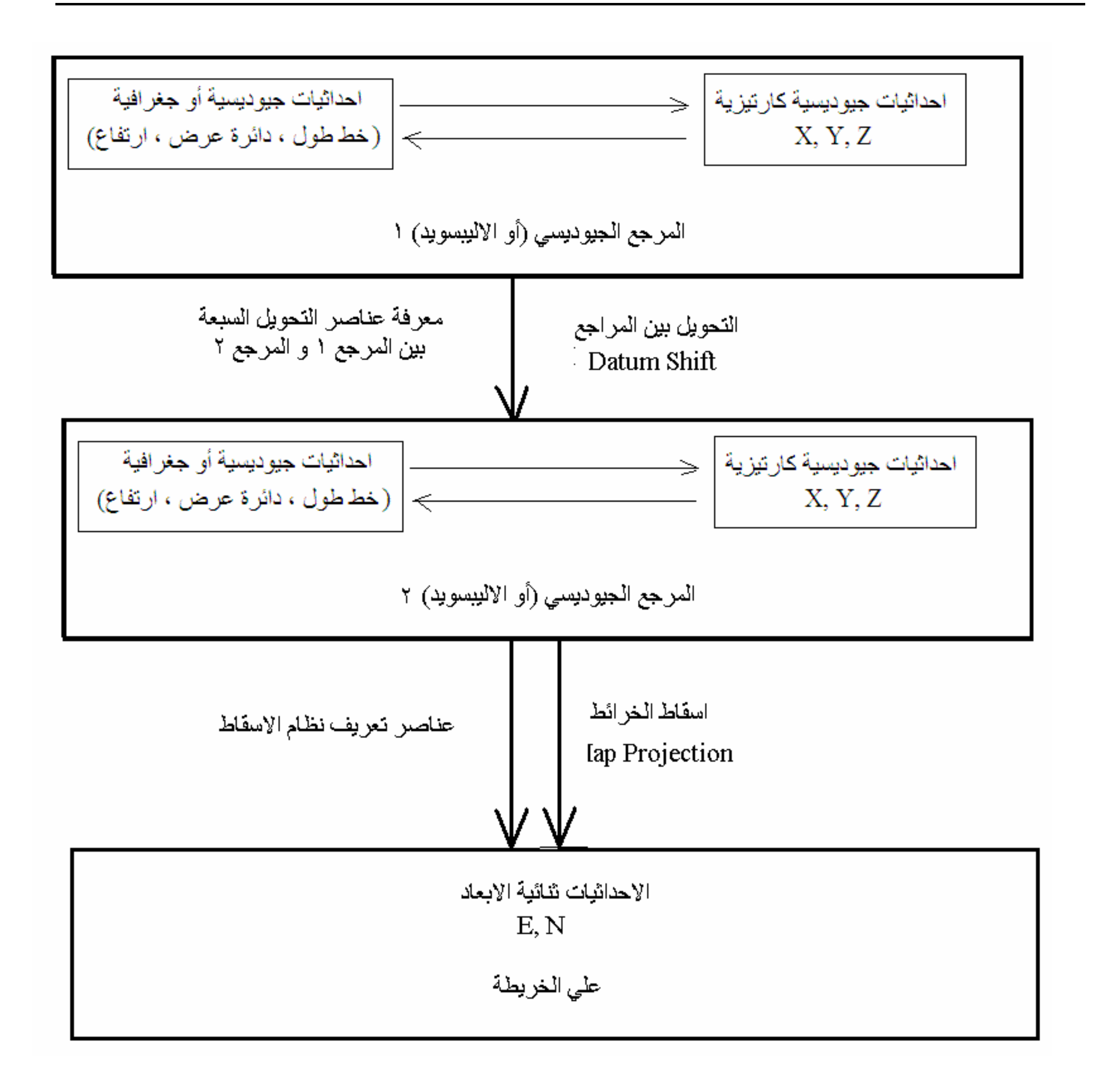
قد يساور البعض لبسا كبيرا في خطوات تحويل الإحداثيات التي تقيسها علي الطبيعة إلي تلك الموقعة علي الخريطة ، وعلي الجانب الآخر فقد يظن البعض أن أجهزة تقنيات تحديد المواقع (مثل الجي بي أس) ليس بها أي خطأ وأن ما تنتجه من إحداثيات دقيق تماما ! ومن هنا سنحاول أن نلخص – في خطوات مختصرة – ما قمنا بعرضه من أفكار في هذا الفصل (شكل ٢-٢٧).

- تتيح لنا تقنيات جيوديسيا الأقمار الصناعية تحديد المواقع علي سطح الأرض ، لكن بالاعتماد علي نموذج رياضي معين يمثل الأرض شكلا و حجما وهو الذي نطلق عليه اسم الاليبسويد.
- كل نوع من الإحداثيات المرصودة يكون منسوبا لاليبسويد محدد ، فمثلا إحداثيات تقنية الجي بي أس تكون منسوبة للمجسم العالمي أو اليبسويد WGS84.
- سواء كانت الإحداثيات من النوع الجغرافي أو الجيوديسي (خط الطول $\phi$ ودائرة العرض $\lambda$ و الارتفاع الجيوديسي h ) أو الإحداثيات الكارتيزية ( X, Y, Z) فيمكن تحويل أي نوع للآخر (المعادلات ٢-٢ و ٢-٥) لكننا مازلنا علي نفس الاليبسويد.
- لكل دولة اليبسويد معتمد قد تم تعديله ليناسبها (أصبح أسمه مرجع وليس اليبسويد) يختلف من دولة لآخري ، وهو المرجع الذي تستخدمه الدولة في إنتاج خرائطها.
- لا يمكن توقيع الإحداثيات المنسوبة لاليبسويد عالمي (مثل إحداثيات الجي بي أس المنسوبة إلي WGS84) مباشرة علي خرائط أي دولة وإلا فأننا نتوقع خطأ في التوقيع قد يصل إلي مئات الأمتار.
- يتم تحويل الإحداثيات من اليبسويد عالمي (مثل WGS84) إلي أي مرجع وطني أو محلي لدولة معينة من خلال معرفة عناصر التحويل السبعة ( $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z, Rx, Ry, Rz, s$) التي تصف العلاقة الرياضية بين كلا المرجعين ، باستخدام المعادلة ٢-٨ مثلا.
- تختلف دقة حساب الإحداثيات علي المرجع المحلي باختلاف دقة عناصر التحويل المستخدمة ، وللأعمال المساحية البسيطة يمكن استخدام قيم عناصر التحويل الموجودة في جدول ٢-٢ ، إلا أنه يجب ملاحظة أنها قيم غير دقيقة تماما و لا تناسب المشروعات الجيوديسية التي تتطلب دقة عالية حيث يجب البحث عن عناصر تحويل أكثر دقة.
- أما لتوقيع الإحداثيات الجيوديسية ثلاثية الأبعاد إلي إحداثيات ثنائية الأبعاد (الإحداثيات علي الخريطة) فسنستخدم أحدي طرق إسقاط الخرائط ، حيث يجب معرفة معاملات الإسقاط (مثلا ٥ معاملات لإسقاط ميريكاتور المستعرض: الاحداثي الشرقي الزائف ، الاحداثي الشمالي الزائف ، خط الطول المركزي ، دائرة العرض القياسية ، معامل

[44] Jekeli, C., 2006, Geodetic reference systems in geodesy, Lecture notes, Division of geodesy and geospatial science, School of Earth sciences, Ohio State University, Columbus, Ohio, USA.

القياس) لكل طريقة. وحيث أن المرجع الجيوديسي و نظام إسقاط الخرائط يختلف من دولة لأخرى فأن معاملات الإسقاط أيضا ستختلف من خرائط دولة لأخرى.

- أي أننا في النهاية وللوصول إلي الإحداثيات علي الخريطة نحتاج لمعرفة ١٢ عنصر (وأحيانا أكثر أو أقل): ٧ عناصر تحويل الإحداثيات بين المراجع ، ٥ عناصر (أو أكثر) لتعريف نظام الإسقاط.
- أخيرا يجب ملاحظة أن الارتفاع المقاس بتقنية الجي بي أس يكون منسوبا لسطح الاليبسويد العالمي WGS84 بينما الارتفاع المستخدم في الخرائط المساحية يكون منسوبا لمستوي متوسط سطح البحر MSL والفرق بينهما يسمي حيود الجيويد ، أي أنه يجب وجود نموذج جيويد Geoid Model لكي نحول ارتفاعات الجي بي أس إلي مناسيب تستخدم في الخرائط الطبوغرافية و التفصيلية وكافة المشروعات الهندسية المدنية (سنتحدث عن الجيويد لاحقا).




**شكل ٢-٢٧**
**خطوات تحويل و إسقاط الإحداثيات**

# الفصل الثالث
# تقنية النظام العالمي لتحديد المواقع: الجي بي أس

## ٣-١ مقدمة:

مع بداية الستينات من القرن العشرين الميلادي اهتمت عدة جهات حكومية في الولايات المتحدة الأمريكية (مثل وزارة الدفاع DoD و وزارة النقل DoT وهيئة الطيران الفضاء ناسا NASA) بتطوير نظام ملاحي يعتمد علي رصد الأقمار الصناعية. وتم إطلاق نظام ترنزيت Transit في عام ١٩٦٤ ، إلا أنه سرعان ما لم يلبي حاجات القطاعين العسكري و المدني وخاصة في عنصري الدقة و الاتاحية وبدأ التفكير إما في تطوير هذا النظام أو البحث عن بديل جديد له[١]. بدأت عدة جهات علمية و حكومية اقتراح نظم جديدة و في عام ١٩٦٩ قامت وزارة الدفاع بإنشاء برنامج جديد تحت اسم البرنامج العسكري للملاحة بالأقمار الصناعية DNSS لتوحيد الجهود وراء إطلاق نظام ملاحي جديد. وبالفعل تم اقتراح تقنية جديدة تحت اسم ***"النظام العالمي الملاحي لتحديد المواقع بقياس المسافة و الزمن باستخدام الأقمار الصناعية NAVigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System"*** أو اختصارا باسم NAVSRAT GPS ، إلا أنه عرف علي نطاق واسع – بعد ذلك – باسم النظام العالمي لتحديد المواقع أو اختصارا ***"جي بي أس GPS"***. تم إطلاق أول قمر صناعي في هذا النظام في ٢٢ فبراير ١٩٧٨ وفي ٨ ديسمبر ١٩٩٣ تم إعلان اكتمال النظام مبدئيا Initial Operational Capability (IOC) ، أما الإعلان النهائي لاكتمال النظام رسميا Fully Operational Capability (FOC) فقد كان في ٢٧ أبريل ١٩٩٥. وفي بدايته كان الجي بي أس مقصورا علي الاستخدامات العسكرية للقوات المسلحة الأمريكية وحلفاؤها حتى أعلن الرئيس الأمريكي ريجان في عام ١٩٨٤ السماح للمدنيين باستخدامه (لكن ليس جميع مميزاته أو مستوي الدقة العالية في تحديد المواقع !) ، وكان ذلك بعد حادثة إسقاط القوات المسلحة الروسية لطائرة ركاب كورية مدنية بعد دخولها بالخطأ في المجال الجوي الروسي[٢]. ويدار الجي بي أس من خلال وزارة الدفاع الأمريكية وهي الجهة المسئولة عن إطلاق الأقمار الصناعية و مراقبتها و التأكد من كفاءة تشغيلها واستبدالها كل فترة زمنية بحيث تكون إشارات هذه التقنية متاحة ٢٤ ساعة يوميا وعلي مدار كل الأيام لجميع المستخدمين علي سطح الأرض. وفي عام ١٩٩٦ تم تكوين لجنة عليا تضم عدد من الوزارات الأمريكية لكي تشرف علي نظام الجي بي أس و تضع السياسات المستقبلية اللازمة ، وسميت باللجنة التنفيذية مابين الوزارات Inter-Agency GPS Executive Board أو اختصارا IGEB (الرابط علي شبكة الانترنت في: http://www.igeb.gov/charter.shtml) .

[1] Kaplan, E. and Hegarty, C., 2006, Understanding GPS: Principles and applications, Second Edition, Artech House, Inc., Boston, USA.

[2] US Army Corps of Engineering, 2003, NAVSTAR Global Positioning System Surveying, Technical Manual No. EM1110-1-1003, Washington, D.C., USA.

تشتمل تقنية الجي بي أس علي العديد من المميزات التي ساعدت علي انتشارها بصورة لم يسبق لها مثيل ومنها[٣]:

- متاح طوال ٢٤ ساعة يوميا ليلا و نهارا وعلي مدار العام كله.
- يغطي جميع أنحاء الأرض.
- لا يتأثر بأية ظروف مناخية مثل درجات الحرارة و المطر و الرطوبة والرعد و الرق و العواصف.
- الدقة العالية في تحديد المواقع لدرجة تصل إلي ملليمترات في بعض التطبيقات و طرق الرصد الجيوديسية أو دقة أمتار قليلة (٥.٢ متر في المتوسط [٤]) للتطبيقات الملاحية.
- الوفرة الاقتصادية بحيث أن تكلفة استخدام الجي بي أس تقل بنسبة أكبر من ٢٥% بالمقارنة بأي نظام ملاحي أرضي أو فضائي آخر.
- لا يحتاج لخبرة تقنية متخصصة لتشغيل أجهزة الاستقبال (وخاصة المحمولة يدويا) لدرجة أن بعض مستقبلات الجي بي أس أصبحت تدمج في الساعات اليدوية و أجهزة الاتصال التليفوني.

تتعدد التطبيقات المدنية لتقنية الجي بي أس بصورة كبيرة في مجالات متعددة مثل[٥] (شكل ٣-١): الملاحة البرية وتحديد مواقع المركبات المتحركة في الشوارع بغرض زيادة كفاءة النقل البري ، الملاحة الفضائية و تحديد مواقع المركبات الفضائية الخارجية ، الملاحة الجوية وتحديد مواقع الطائرات أثناء الهبوط و الإقلاع و طوال مسار الرحلات الجوية ، الزراعة ورسم خرائط التربة وإرشاد الجرارات الزراعية أثناء عملها ، الملاحة البحرية وتحديد مواقع السفن طوال مسار الرحلة ، السكك الحديدية والتحديد الدقيق لمواقع القطارات بهدف تحسين مستوي السلامة والأمان و كفاءة التشغيل ، التطبيقات البيئية مثل تحديد مواقع محطات قياس المد و الجزر وربط بياناتها علي المستوي العالمي بغرض مراقبة ظاهرة ارتفاع منسوب سطح البحر وكذلك مراقبة حركة التسربات من حاملات البترول و مراقبة و رسم خرائط لمناطق حرائق الغابات ، السلامة العامة و الغوث من الكوارث الطبيعية وخاصة في استخدامات فرق البحث و الإنقاذ للمناطق التي تعرضت لمثل هذه الكوارث وأيضا الاستجابة السريعة لحالات الطوارئ ، تطبيقات قياس و تزامن الوقت مثل دمج بيانات محطات رصد مواقع الزلازل وكذلك ضبط تزامن أجهزة الكمبيوتر للبنوك العالمية متعددة الفروع وأيضا لشركات توزيع الكهرباء ، بالإضافة لمجال الهندسة المساحية و إنشاء الخرائط.

تعددت التطبيقات المساحية لتقنية الجي بي أس بصورة كبيرة في السنوات الماضية وتشمل بعضها:

- إنشاء الشبكات الجيوديسية للثوابت الأرضية الدقيقة وتكثيف الشبكات القديمة منها (عن طريق إضافة محطات جديدة لها).
- رصد تحركات القشرة الأرضية.

[3] صالح ، حسين عزيز ، ٢٠٠٨، نظام التعيين الاحداثي العالمي: الجي بي أس ، متاح في: http://iridia.ulb.ac.be/~hsaleh/

[4] Dawod, G., 2007, New strategies in the utilization of GPS technology for mapping and GIS activities in Egypt, Civil Engineering Research Magazine (CERM), V. 29, No. 1 (Jan.), pp. 292-310.

[5] مكتب الجي بي أس الرسمي الأمريكي ، ٢٠٠٨، نظام التموضع العالمي ، متاح في: http://www.gps.gov/systems/gps/arabic.html

- رصد إزاحة أو هبوط المنشئات الحيوية كالكباري و الجسور و السدود و القناطر.
- أعمال الرفع المساحي التفصيلي و الطبوغرافي.
- إنتاج خرائط طبوغرافية و تفصيلية دقيقة و في صورة رقمية.
- تحديد المواقع لعلامات الضبط الأرضي للصور الجوية Aerial Photogrammetry و المرئيات الفضائية لنظم الاستشعار عن بعد Remote Sensing.
- تطبيقات المساحة التصويرية الأرضية Close-Range Photogrammetry.
- تطوير نماذج الجيويد الوطنية بالتكامل مع أسلوب الميزانية الأرضية.
- تجميع البيانات المكانية عند استخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية Geographic Information Systems أو GIS ، وخاصة لتطبيقات تحديد مواقع الخدمات المدنية Location-Based Services وتطبيقات النقل الذكي Intelligent Transportation وأيضا تطبيقات نظم معلومات الأراضي Land Information Systems أو LIS [6].
- الربط بين المراجع الجيوديسية المختلفة للدول في حالات المشروعات الحدودية المشتركة.
- نظم الخرائط المحمولة Mobile Mapping Systems أو MMS.
- الرفع الهيدروجرافي و تطوير الخرائط البحرية و النهرية.
- تثبيت و توثيق مواقع العلامات الحدودية بين الدول.
- بدمج تقنيتي الجي بي أس و نظم المعلومات الجغرافية أمكن إنتاج خرائط رقمية و قواعد بيانات محمولة يدويا للمدن بكافة تفاصيلها و خدماتها.

[6] Taylor, G., and Blewitt, G., 2006, Intelligent positioning: GIS-GPS unification, John Wiley & Sons Ltd, West Sussex, England.

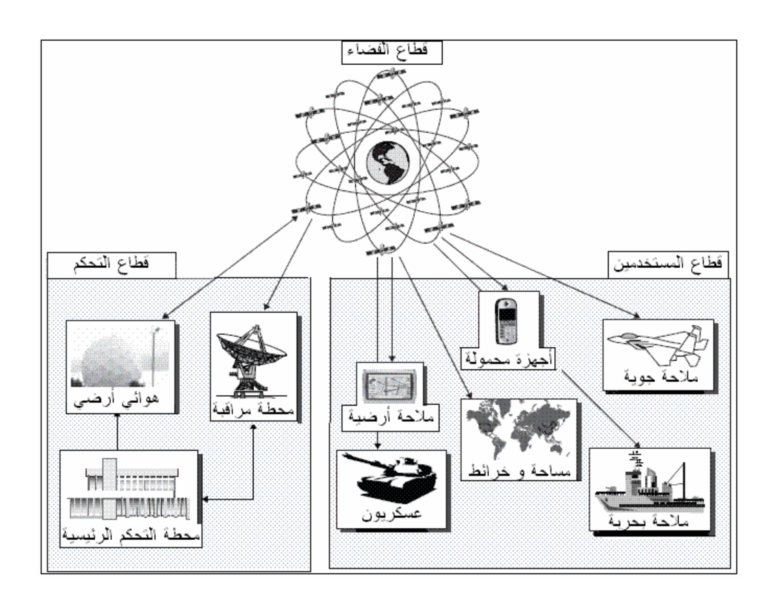



**شكل ٣-١**
**بعض مجالات تطبيقات الجي بي أس**

## ٣-٢ مكونات نظام الجي بي أس:

يتكون نظام الجي بي أس من ثلاثة أجزاء أو أقسام (شكل ٣-٢) هي:

- قسم الفضاء ويحتوي الأقمار الصناعية **Space Segment**.
- قسم التحكم و السيطرة **Control Segment**.
- قسم المستقبلات الأرضية أو المستخدمون **User Segment**.




**شكل ٣-٢**
**أقسام الجي بي أس**

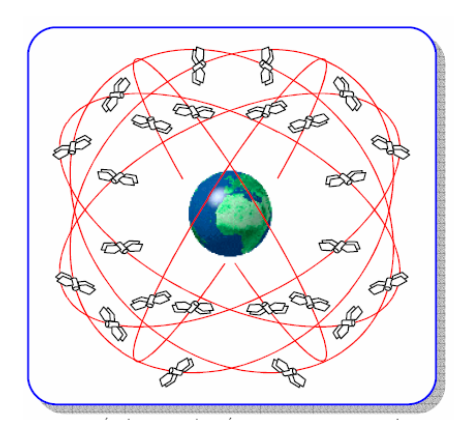
وسنستعرض الملامح الرئيسية لكل قسم من هذه الأقسام الثلاثة.

### ٣-٢-١ قسم الفضاء أو الأقمار الصناعية:

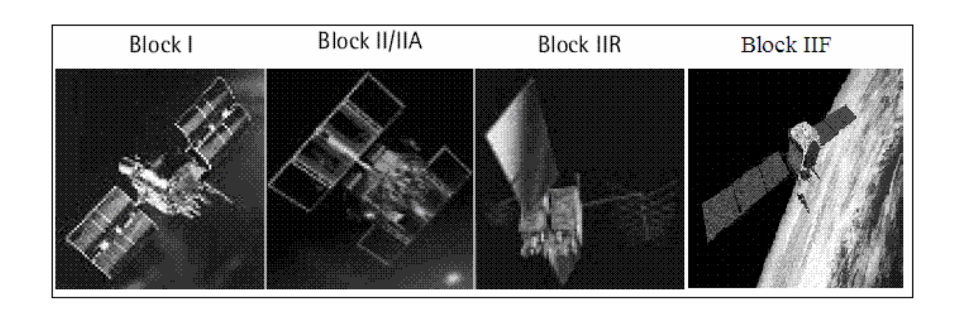
يتكون قسم الفضاء - اسميا - من ٢٤ قمرا صناعيا (٢١ قمر عامل + ٣ أقمار احتياطية spare موجدة في الفضاء) موزعة في ٦ مدارات بحيث يكون هناك ٤ أقمار صناعية في كل مدار مما يسمح بالتغطية الدائمة (أي وجود علي الأقل ٤ أقمار صناعية) لكل موقع علي سطح الأرض في أي لحظة طوال اليوم (شكل ٣-٣). وقد يصل عدد الأقمار الصناعية في وقت معين إلي ما هو أكثر من ٢٤ قمرا طبقا لخطة إطلاق الأقمار الصناعية. وتدور الأقمار الصناعية في مدارات شبه دائرية علي ارتفاع حوالي ٢٠٢٠٠ كيلومتر من سطح الأرض ليكمل كل قمر صناعي دورة كاملة حول الأرض في مدة ١١ ساعة و ٥٦ دقيقة بالتوقيت الزمني الأرضي العالمي GMT. ويتراوح وزن القمر الصناعي بين ٤٠٠ و ٨٥٠ كيلوجرام ويبلغ عمره الافتراضي (للأجيال الحديثة من الأقمار الصناعية) حوالي سبعة سنوات و نصف، ويستمد طاقته من خلال صفيحتين لالتقاط الطاقة الشمسية بالإضافة لوجود ثلاثة بطاريات احتياطية من النيكل تزوده بالطاقة عندما يمر بمنطقة ظل الأرض. ويقوم كل قمر صناعي بتوليد موجتين علي ترددين مختلفين Frequency يسموا L1 و L2 بالإضافة لشفرتين Codes و رسالة ملاحية Navigation Message يتم بثهم علي هذين الترددين. كما يحتوي كل قمر علي

عدد من الساعة الذرية Atomic Watch سواء من نوع السيزيوم cesium أو الرابيديوم rubidium.

تغيرت مواصفات و كفاءة الأقمار الصناعية في نظام الجي بي أس علي مر السنوات بحيث يمكن تقسيم الأقمار إلي عدد من الأجيال (شكل ٣-٤). بدأت أقمار الجيل الأول – يسمي Block I – وعددهم ١١ قمرا مع بداية تقنية الجي بي أس منذ إطلاق القمر الأول في ٢٢ فبراير ١٩٧٨ وكان آخر أقمار هذا الجيل الذي أطلق في ٩ أكتوبر ١٩٨٥[7]. وكان ميل مدار أقمار الجيل الأول ٦٣° علي مستوي دائرة الاستواء والعمر الافتراضي المصمم للقمر الواحد هو أربعة سنوات و نصف (إلا أن بعضهم بقي يعمل بكفاءة لحوالي عشرة سنوات). وكان الجيل الثاني من الأقمار الصناعية Block II/IIA أكثر كفاءة من سابقه وتكون من ٢٨ قمرا صناعيا تم إطلاقها في الفترة بين فبراير ١٩٨٩ و نوفمبر ١٩٩٧ بحيث يبلغ ميل مدار القمر الصناعي ٥٥° علي دائرة الاستواء ، و زاد العمر الافتراضي للقمر الواحد إلي سبعة سنوات و نصف. ثم تعددت الأجيال الفرعية من الجيل الثاني لتصبح هناك أقمار IIR (٢١ قمر بعمر افتراضي يبلغ عشرة سنوات) وأقمار IIR-M وأقمار IIF (بعمر افتراضي يصل إلي خمسة عشر عاما) ، كما بدأ العمل في تصميم أقمار الجيل الثالث من الأقمار الصناعية Block III.



**شكل ٣-٣**
**قطاع الفضاء في تقنية الجي بي أس**

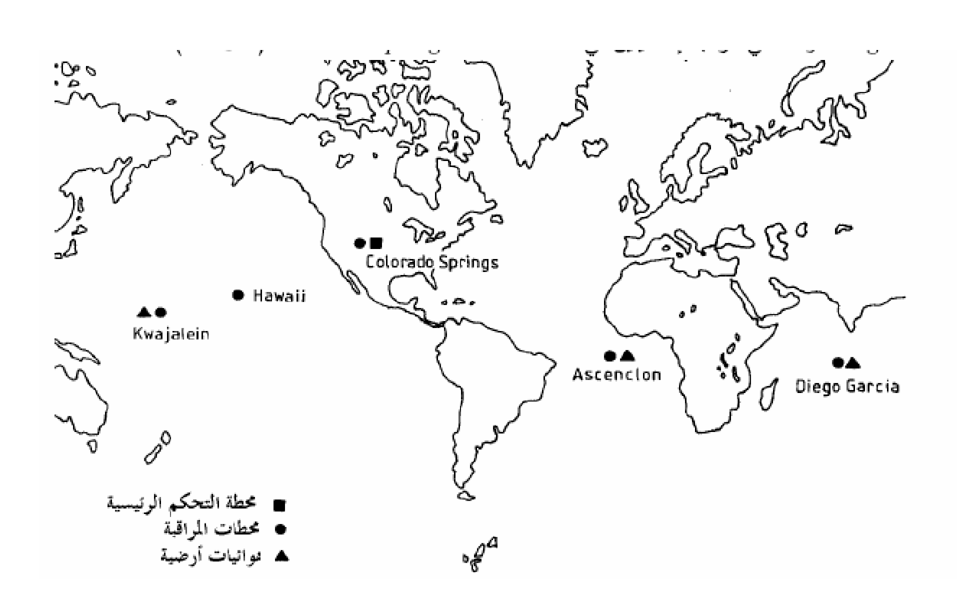



**شكل ٣-٤**
**نماذج للأقمار الصناعية في نظام الجي بي أس**

[7] Al-Rabbany, A., 2002, Introduction to GPS: The Global Positioning System, Artech House, Inc., Boston, USA.

**٣-٢-٢ قسم التحكم و المراقبة:**

يتكون قسم التحكم و المراقبة من محطة التحكم الرئيسية في ولاية كلورادو الأمريكية وأربعة محطات مراقبة في عدة مواقع حول العالم (شكل ٣-٥). تستقبل محطات المراقبة كل إشارات الأقمار الصناعية وتحسب منها المسافات لكل الأقمار المرصودة وترسل هذه المعطيات بالإضافة لقياسات الأحوال الجوية إلي محطة التحكم الرئيسية والتي تستخدم هذه البيانات في حساب المواقع اللاحقة للأقمار وسلوك (تصحيحات) ساعاتها وبالتالي تكون الرسالة الملاحية لكل قمر صناعي [٨]. تقوم محطة التحكم الرئيسية بعمل التصحيحات اللازمة لمدارات الأقمار الصناعية وكذلك تصحيح ساعات الأقمار ، ثم تقوم بإرسال هذه المعلومات للأقمار الصناعية (مرة كل ٢٤ ساعة) والتي تقوم بتعديل مساراتها و أزمانها وبعد ذلك ترسل هذه البيانات المصححة كإشارات إلي أجهزة الاستقبال الأرضية.




**شكل ٣-٥**
**قسم التحكم و السيطرة**

**٣-٢-٣ قسم المستقبلات الأرضية:**

يضم هذا القطاع أجهزة استقبال الجي بي أس (مستخدمو النظام) التي تستقبل إشارات الأقمار الصناعية وتقوم بحساب موقع – إحداثيات – المكان الموجود به المستقبل سواء علي الأرض أو في الجو أو في البحر ، بالإضافة لسرعة واتجاه حركة المستقبل إن كان متحركا أثناء فترة الرصد (شكل ٣-٦). بصفة عامة يتكون جهاز الاستقبال من: هوائي مع مضخم إشارة ، وحدة تردد راديوي أو لاقط الإشارات، مولد ترددات ، وحدة تأمين الطاقة الكهربائية ، وحدة التحكم للمستخدم ، بالإضافة إلي وحدة ذاكرة لتخزين القياسات.

تتعدد أنواع أجهزة الاستقبال بصورة كبيرة جدا طبقا لعدد من العوامل (سنتعرض بالتفصيل لمواصفات الأجهزة الهندسية لاحقا):

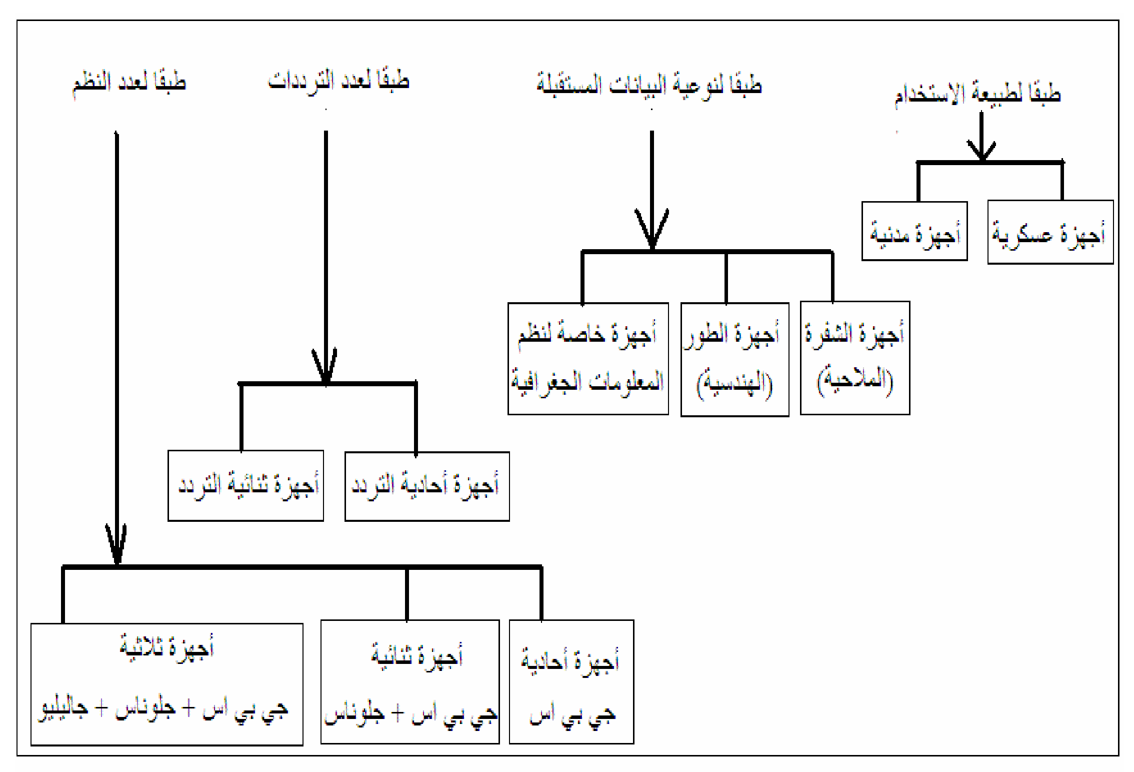
[8] حموي ، هيثم نوري ، ١٩٩٧ ، مدخل إلي جيوديسيا الأقمار الصناعية ومقدمة مسهبة في نظام التوضع العالمي، فيينا ، النمسا.

أ- طبقا لطبيعة الاستخدام: توجد أجهزة استقبال عسكرية (تستطيع التعامل مع الشفرة العسكرية التي تبثها الأقمار الصناعية وتفك شفرتها للحصول علي دقة عالية جدا في حساب المواقع) وأجهزة استقبال مدنية.

ب- طبقا لنوعية البيانات المستقبلة: توجد مستقبلات تسمي بأجهزة الشفرة Code ومشهورة أيضا باسم الأجهزة الملاحية Navigation Receivers أو الأجهزة المحمولة يدويا Hand-Held Receivers ، وتوجد أجهزة تسمي بأجهزة قياس الطور Phase ومعروفة أيضا باسم الأجهزة الهندسية أو الجيوديسية Geodetic Receivers ، وظهرت حديثا الفئة الثالثة من الأجهزة والتي أطلق عليها أجهزة تجميع البيانات لنظم المعلومات الجغرافية GIS-Specific Receivers (شكل ٣-٧).

ج- طبقا لعدد الترددات: توجد أجهزة تستقبل تردد واحد من الترددين الذين تبثهما الأقمار الصناعية وتسمي أجهزة أحادية التردد Single-Frequency Receivers أو أجهزة التردد الأول L1-Receivers ، وأجهزة ثنائية التردد Dual-Frequency Receivers التي تستطيع استقبال كلا ترددي الجي بي أس L1 and L2 (وهي أغلي قليلا من الأجهزة أحادية التردد).

د- طبقا لعدد النظم: هناك أجهزة تتعامل فقط مع إشارات نظام الجي بي أس ، وأجهزة ثنائية النظام تستقبل الإشارات من كلا من الجي بي أس و النظام الملاحي الروسي جلوناس، وأجهزة ثلاثية النظم حيث يمكنها أيضا استقبال إشارات النظام الملاحي الأوروبي جاليليو عند بدء العمل به،




**شكل ٣-٦**
**أنواع أجهزة استقبال الجي بي أس**




**شكل ٣-٧**
**بعض أجهزة استقبال الجي بي أس**

## ٣-٣ فكرة عمل الجي بي أس في تحديد المواقع:

كما سبق الإشارة في الفصل الأول فأن نظرية عمل نظم الملاحة أو الجيوديسيا بالأقمار الصناعية تعتمد علي مبدأ قياس الزمن الذي تستغرقه الموجة الرادوية منذ صدورها من وحدة البث (القمر الصناعي) وحتى وصولها لوحدة الاستقبال (المستقبل) ، ومن ثم يمكن حساب المسافة بين القمر الصناعي و جهاز الاستقبال من المعادلة:

$$D = c \,.\, \Delta t \qquad (3\text{-}1)$$

حيث D المسافة بين القمر الصناعي و جهاز الاستقبال ، c سرعة الإشارة وتساوي سرعة الضوء = ٢٩٩٧٩٢.٤٥٨ كيلومتر/ثانية ، $\Delta t$ فرق الزمن = زمن الاستقبال – زمن الإرسال لهذه الموجة الرادوية.

يمكن التعبير عن هذه المسافة بدلالة الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية لكلا من القمر الصناعي (Xs, Ys, Zs) و جهاز الاستقبال (Xr, Yr, Zr) كالآتي:

$$D = \sqrt{[(Xs-Xr)^2 + (Ys-Yr)^2 + (Zs-Zr)^2]} \qquad (3\text{-}2)$$

حيث أن إحداثيات القمر الصناعي في أي لحظة تكون معلومة فأن المعادلة (٣-٢) تحوي علي ٣ قيم مجهولة و هم إحداثيات جهاز الاستقبال ذاته (Xr, Yr, Zr). مما يدل علي أنه يلزم وجود ٣ معادلات حتى يمكن حلهم معا آنيا simultaneously لحساب قيم الإحداثيات الثلاثة لجهاز الاستقبال. أي بمعني آخر: يلزم لجهاز الاستقبال رصد ٣ أقمار صناعية في نفس اللحظة.

حيث أن سرعة الإشارة (سرعة الضوء) كبيرة جدا فأنه للوصول لدقة عالية في حساب المسافة يلزمنا دقة عالية أيضا في قياس الزمن أو حساب فرق الزمن $\Delta t$ في المعادلة (٣-١). لاحظ أن الإشارة لا تستغرق أكثر من ٠.٠٦ ثانية لتقطع مسافة ٢٠،٠٠٠ كيلومتر من القمر الصناعي إلي سطح الأرض. إن الساعة الموجودة في القمر الصناعي من النوع الذري عالي الدقة جدا في تحديد زمن الإرسال (زمن خروج الإشارة من القمر الصناعي) لكن الساعة الموجودة في جهاز الاستقبال ليست بنفس هذه الدقة العالية (وإلا فأن سعرها سيكون مرتفعا جدا بصورة تجعل سعر أجهزة الاستقبال غير متاحة لكل المستخدمين). أبتكر العلماء فكرة جديدة وذكية للتغلب علي مشكلة عدم دقة الساعة في أجهزة الاستقبال ، وهي إضافة قيمة الخطأ في ساعة المستقبل وحلها من خلال معادلة رياضية. أي أن المعادلة (٣-١) والمعادلة (٣-٢) ستتحولان إلي:

$$D = c \,.\, (\Delta t + Et) \qquad (3\text{-}3)$$

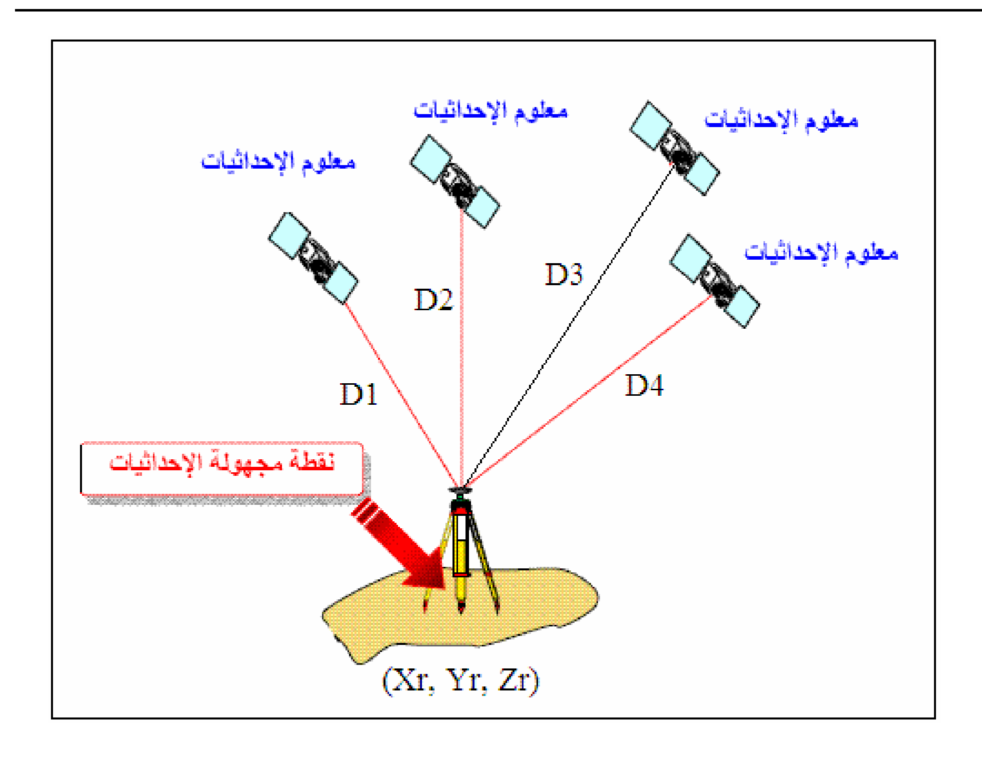
$$D + \Delta D = \sqrt{[ (Xs-Xr)^2 + (Ys-Yr)^2 + (Zs-Zr)^2 ]} \qquad (3\text{-}4)$$

حيث $Et$ هو الخطأ المطلوب حسابه لزمن الاستقبال الذي يقيسه جهاز المستقبل ، $\Delta D$ هو قيمة الخطأ في المسافة المحسوبة بين القمر الصناعي و جهاز الاستقبال. وبالتالي فأن عدد القيم المجهولة Unknowns أصبح ٤ وليس ٣ (ثلاثة إحداثيات لموقع جهاز الاستقبال $Xr, Yr, Zr$ وتصحيح المسافة الناتج عن خطأ ساعة الجهاز $\Delta D$) مما يلزم وجود ٤ معادلات حتى يمكن حساب قيم العناصر الأربعة المجهولة (شكل ٣-٨):

$$\begin{aligned}
D_1 + \Delta D_1 &= \sqrt{[ (Xs_1-Xr)^2 + (Ys_1-Yr)^2 + (Zs_1-Zr)^2 ]} \\
D_2 + \Delta D_2 &= \sqrt{[ (Xs_2-Xr)^2 + (Ys_2-Yr)^2 + (Zs_2-Zr)^2 ]} \\
D_3 + \Delta D_3 &= \sqrt{[ (Xs_3-Xr)^2 + (Ys_3-Yr)^2 + (Zs_3-Zr)^2 ]} \\
D_4 + \Delta D_4 &= \sqrt{[ (Xs_4-Xr)^2 + (Ys_4-Yr)^2 + (Zs_4-Zr)^2 ]}
\end{aligned} \qquad (3\text{-}5)$$

حيث $D_1, D_2, D_3, D_4$ المسافات المقاسه بين جهاز الاستقبال و الأقمار الصناعية الأربعة ، $(Xs_1, Ys_1, Zs_1)$ و$(Xs_2, Ys_2, Zs_2)$ و $(Xs_3, Ys_3, Zs_3)$ و $(Xs_4, Ys_4, Zs_4)$ تمثل إحداثيات الأقمار الصناعية الأربعة ، $(Xr, Yr, Zr)$ تمثل إحداثيات جهاز الاستقبال ، $Er$ يمثل خطأ زمن جهاز الاستقبال.

إذن: المطلوب لحل مجموعة المعادلات هذه هو أن يقوم جهاز الاستقبال برصد ٤ أقمار صناعية في نفس اللحظة. وهذا هو ***الشرط الأساسي*** لحساب الإحداثيات ثلاثية الأبعاد باستخدام الجي بي أس (نكتفي برصد ٣ أقمار صناعية فقط لحساب الإحداثيات ثنائية الأبعاد أي بإهمال حساب ارتفاع الموقع). فإذا توفر لدينا عدد من المعادلات أكبر من ٤ (أي تم رصد أكثر من ٤ أقمار صناعية في نفس اللحظة) فستؤدي هذه الأرصاد الزائدة Redundant Measurement إلي زيادة دقة و جودة حل المعادلات ومن ثم زيادة دقة الإحداثيات المستنبطة.




**شكل ٣-٨**
**مبدأ الرصد في نظام الجي بي أس**

### ٣-٤ إشارات الأقمار الصناعية في الجي بي أس:

يقوم كل قمر صناعي من أقمار الجي بي أس بإرسال إشارتين راديوتين علي ترددين carrier frequencies ومحمل عليهما نوعين من الشفرات الرقمية digital codes بالإضافة لرسالة ملاحية navigation message. يبلغ تردد الإشارة الأولي – تسمي L1 – ١٥٧٥.٤٢ ميجاهرتز بينما يبلغ تردد الإشارة الثانية – تسمي L2 – ١٢٢٧.٦٠ ميجاهرتز. كما يبلغ طول الموجة wavelength لتردد L1 ١٩ سنتيمتر بينما يبلغ ٢٤.٤ سنتيمتر لتردد L2. السبب الرئيسي وراء وجود ترددين صادرين من كل قمر صناعي هو تقدير و حساب الخطأ الذي تتعرض له الإشارات عند مرورها في طبقات الغلاف الجوي (سنتعرض للأخطاء بالتفصيل لاحقا). أما طريقة وضع الشفرة modulation علي التردد الحامل له فتختلف من قمر صناعي لآخر حتى يتم تقليل أخطاء تداخل الإشارات.

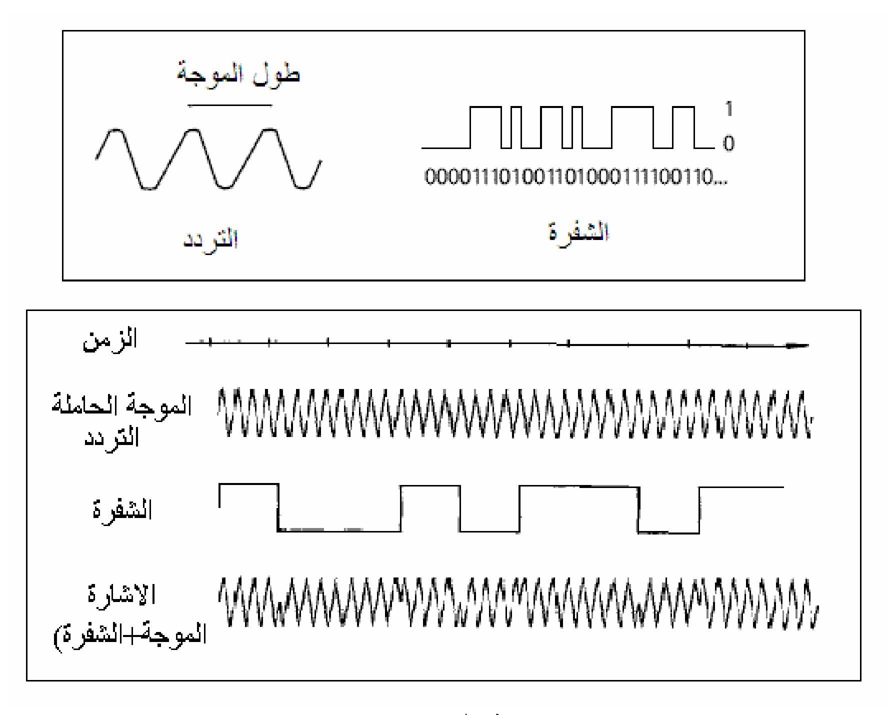
الشفرة الأولي تسمي شفرة الحصول الخشن Coarse-Acquisition Code وترمز لها بالرمز C/A وأحيانا نسميها الشفرة المدنية (لأنها المتاحة للأجهزة المدنية للتعامل معها وقراءة محتوياتها) ، بينما الشفرة الثانية تسمي الشفرة الدقيقة Precise Code ويرمز لها بالرمز P والبعض يطلق عليها أحيانا اسم الشفرة العسكرية (لان التعامل معها وقراءتها لا يتم إلا باستخدام أجهزة استقبال خاصة غير متاحة إلا لأفراد الجيش الأمريكي). تتكون كل شفرة من سيل من الأرقام صفر و واحد ، ولذلك تعرف الشفرة بمصطلح الضجة العشوائية الزائفة Pseudo Random Noise أو PRN لان الشفرة تشبه الإشارة العشوائية ، لكن في الحقيقة فأن الشفرة يتم توليدها من خلال نموذج رياضي وليست عشوائية (شكل ٣-٩). تحمل شفرة C/A علي التردد الأول L1 فقط بينما تحمل الشفرة P علي كلا الترددين L1, L2. تجدر الإشارة – دون الدخول في تفاصيل فنية معقدة – أن الشفرة P أدق كثيرا من الشفرة

C/A ولذلك فقد تم منع إمكانية قراءتها من قبل المستخدمين المدنيين منذ فبراير ١٩٩٤ [٩] وقصرها فقط علي التطبيقات العسكرية للولايات المتحدة الأمريكية و حلفاؤها (عن طريق إضافة قيم مجهولة لها تسمي W-code بحيث تتغير الشفرة من P إلي ما يسمي الشفرة Y-code).

وبذلك يمكن القول أن نظام الجي بي أس يقدم نوعين من الخدمات:

- خدمة التحديد القياسي للمواقع Standard Positioning Service أو اختصارا SPS والتي تعتمد علي استقبال و قراءة واستخدام البيانات من الشفرة المدنية C/A ، ولذلك تسمي هذه الخدمة بالخدمة المدنية.
- خدمة التحديد الدقيق للمواقع Precise Positioning Service أو اختصارا PPS والتي تعتمد علي استقبال و قراءة واستخدام البيانات من الشفرة الدقيقة P ولذلك تسمي هذه الخدمة بالخدمة العسكرية.

تتكون الرسالة الملاحية لكل قمر صناعي من مجموعة من البيانات ، وهي تضاف علي كلا الترددين L1, L2. تحتوي بيانات الرسالة الملاحية علي إحداثيات القمر الصناعي ، معلومات عن حالة و كفاءة القمر (صحة القمر satellite health) وأيضا الأقمار الأخرى ، تصحيح خطأ ساعة القمر ، الإحداثيات المتوقعة أو المحسوبة للقمر الصناعي (ولباقي الأقمار) في الفترة المستقبلة وتسمي almanac ، بالإضافة لبيانات عن الغلاف الجوي.




**شكل ٣-٩**
**التردد و الشفرة في إشارات الأقمار الصناعية**

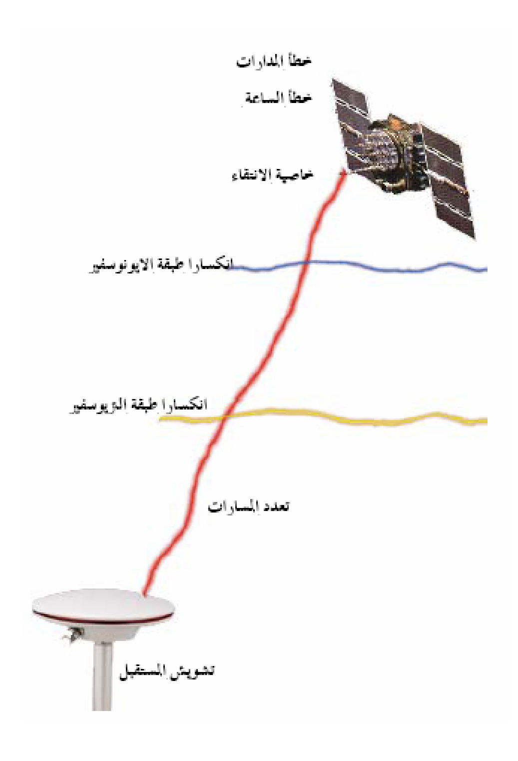
[9] Al-Rabbany, A., 2002, Introduction to GPS: The Global Positioning System, Artech House, Inc., Boston, USA.

## ٣-٥ مصادر الأخطاء في قياسات الجي بي أس:

كأي تقنية بشرية ، توجد عدة مصادر للأخطاء الطبيعية العشوائية Random Errors وأيضا الأخطاء المنتظمة Systematic Errors or Biases تؤثر علي جودة و دقة عمل الجي بي أس. أمكن للعلماء استنباط طرق و نماذج رياضية للتغلب علي هذه الأخطاء أو علي الأقل الوصول بها لأدني حد ممكن حتى يمكن الحصول علي دقة عالية في تحديد المواقع.

من أهم مصادر الأخطاء في نظام الجي بي أس (شكل ٣-١٠) [10]:

أ- الاتاحية المنتقاة
ب- تأثير طبقة التروبوسفير في الغلاف الجوي
ت- تأثير طبقة الأيونوسفير في الغلاف الجوي
ث- خطأ ساعة القمر الصناعي
ج- خطأ مدار القمر الصناعي
ح- خطأ ساعة جهاز الاستقبال
خ- خطأ هوائي جهاز الاستقبال
د- خطأ تعدد المسار
ذ- تأثير الوضع الهندسي للأقمار الصناعية




**شكل ٣-١٠**
**مصادر أخطاء الجي بي أس**

[10] الربيش ، محمد بن حجيلان ، ١٤٢٠ هـ ، النظام الكوني لتحديد المواقع ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.

يعرض الجدول (٣-١) أحد التقديرات لتأثير مصادر الأخطاء علي دقة تحديد المواقع أو حساب إحداثيات أجهزة استقبال الجي بي أس[11]. وسنتعرض لهذه الأخطاء بقليل من التفصيل في الجزء القادم ، بينما يتناول الفصل الرابع طرق الرصد المتعددة و التي تساعد علي التغلب علي هذه الأخطاء.

**جدول ٣-١**

**تأثير الأخطاء علي دقة تحديد المواقع**

(باستخدام شفرة C/A وعند مستوي ثقة ٩٥%)

| نوع مصدر الخطأ | الخطأ (بالمتر) |
|---|---|
| طبقة التروبوسفير في الغلاف الجوي | ٠.٢ |
| طبقة الأيونوسفير في الغلاف الجوي | ٧.٠ |
| خطأ ساعة ومدار القمر الصناعي | ٢.٣ |
| خطأ جهاز الاستقبال | ٠.٦ |
| تعدد المسارات | ١.٥ |
| التوزيع الهندسي لمواضع الأقمار الصناعية | ١.٥ |

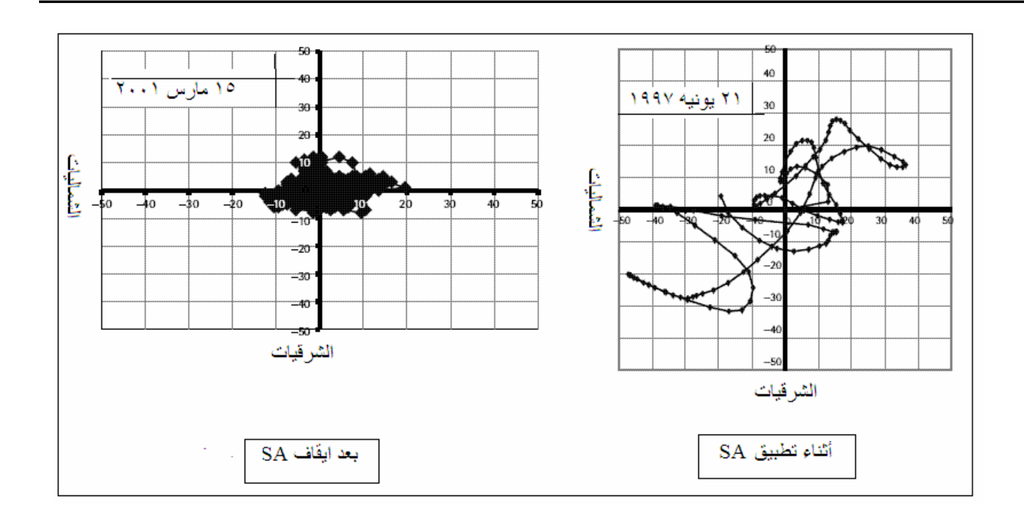
خطأ الاتاحية المنتقاة:

الاتاحية المنتقاة Selective Availability أو اختصارا SA هو خطأ متعمد حيث تضيف وزارة الدفاع الأمريكية قيمة معينة من الخطأ لتقليل الدقة التي يمكن للمستخدم أن يحسب إحداثياته اللحظية Real-Time. كان الهدف الرئيسي وراء فرض هذا الخطأ في إشارات الأقمار الصناعية هو منع التطبيقات العسكرية (التي تتطلب الحصول علي الإحداثيات لحظيا) للجيوش المعادية للولايات المتحدة من التمتع بمميزات دقة الجي بي أس ، ولم يكن هذا الخطأ يؤثر كثيرا علي التطبيقات المدنية – بصفة عامة – حيث طور العلماء عدة طرق رياضية لتقدير هذا الخطأ ومعالجته في مرحلة الحسابات المكتبية بعد انتهاء العمل الحقلي. أثناء فرض خطأ SA كانت الدقة الأفقية للخدمة المدنية SPS (عند مستوي معنوية ٩٥%) ±١٠٠ متر[12] والدقة الأفقية تبلغ ±٣٠٠ متر. وفي ١ مايو ٢٠٠٠ وبعد دراسات مكثفة قامت الحكومة الأمريكية بإيقاف العمل بهذا المصدر من مصادر الأخطاء لتجعل إشارات الأقمار الصناعية في حالتها الطبيعية. ومنذ ذلك الحين فقد أصبحت الدقة الأفقية للخدمة المدنية SPS (عند مستوي معنوية ٩٥%) ±١٣ متر أو أقل كمتوسط علي المستوي العالمي وبحد أقصي ±٣٦ متر في أسوأ الحالات و المواقع ، بينما صارت الدقة الرأسية ±٢٢ متر أو أقل كمتوسط علي المستوي العالمي وبحد أقصي ±٧٧ متر في أسوأ الحالات و المواقع (شكل ٣-١١) [13].

11 Prasad, R. and Ruggieri, M., 2005, Applied satellite navigation using GPS, Galileo and augmentation systems, Artech House, Inc., Boston, USA

12 Prasad, R. and Ruggieri, M., 2005, Applied satellite navigation using GPS, Galileo and augmentation systems, Artech House, Inc., Boston, USA

13 Al-Rabbany, A., 2002, Introduction to GPS: The Global Positioning System, Artech House, Inc., Boston, USA.



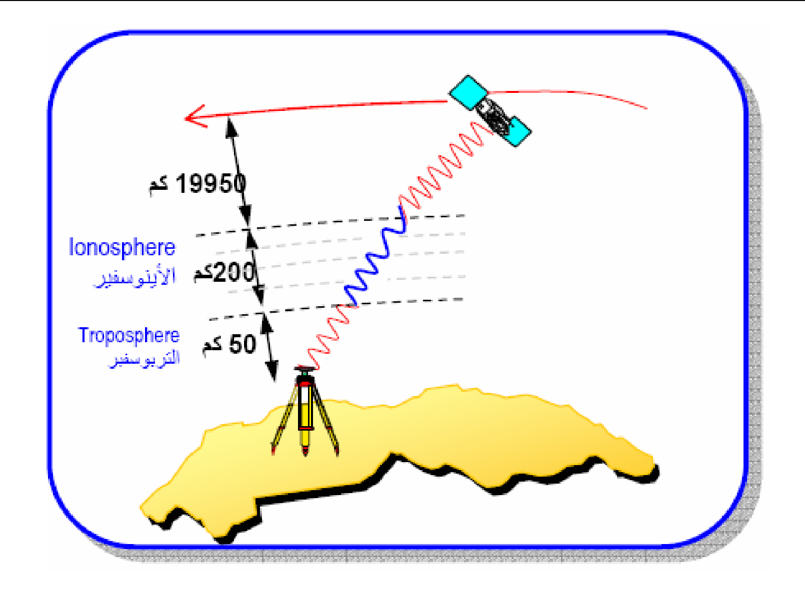

**شكل ٣-١١**
**دقة تحديد المواقع قبل و بعد خطأ SA**

تأثير طبقة التروبوسفير في الغلاف الجوي:

التروبوسفير طبقة من طبقات الغلاف الجوي للأرض تمتد حوالي ٥٠ كيلومتر من سطح الأرض (شكل ٣-١٢). تتسبب هذه الطبقة – عند مرور إشارات الأقمار الصناعية بها – في تأخير أو إبطاء سرعة الإشارات مما ينتج عنه خطأ في حساب المسافات بين جهاز الاستقبال والأقمار الصناعية (حيث تكون المسافة المحسوبة أطول من المسافة الحقيقية) ، وبالتالي سينتج خطأ في تحديد إحداثيات موقع الرصد. تتراوح قيم خطأ طبقة التروبوسفير بين ٢.٣ متر للأقمار التي تقع رأسيا أعلي جهاز الاستقبال ، ٩.٣ متر للأقمار علي زاوية ارتفاع ١٥° من جهاز الاستقبال ، ٢٠-٢٨ متر للأقمار علي زاوية ارتفاع ٥° فقط من جهاز الاستقبال [١٤]. أبتكر العلماء عدة نماذج رياضية تمكن من تقدير قيمة خطأ التروبوسفير – بدقة معقولة – ومن ثم إمكانية تصحيح تأثير هذا الخطأ علي إشارات الأقمار الصناعية. من أحدث هذه النماذج نموذج هيئة المحيطات و الأجواء الأمريكية NOAA [١٥].

[14] Al-Rabbany, A., 2002, Introduction to GPS: The Global Positioning System, Artech House, Inc., Boston, USA.

[15] Al-Rabbany, A., 2009, GNSS Positioning - Some recent developments and trends, Map Middle East Conference, Dubai, UAE, April 26-28. Available at: http://www.gisdevelopment.net/proceedings/mapmiddleeast/2009/mme09_AhmedELRabbany.pps




**شكل ٣-١٢**
**طبقيتي التروبوسفير و الأيونوسفير في الغلاف الجوي**

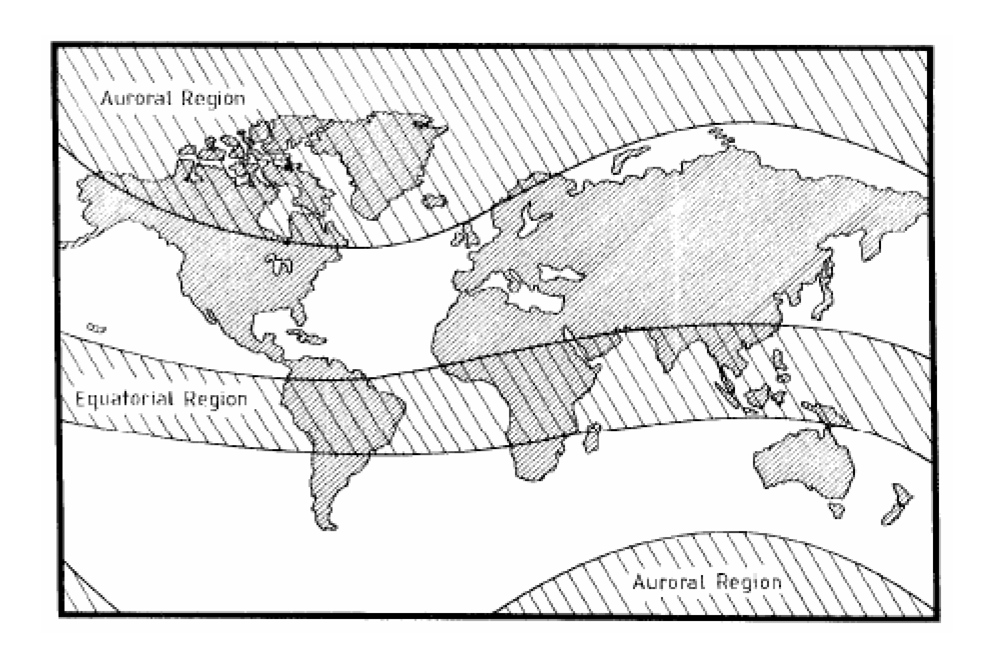
تأثير طبقة الأيونوسفير في الغلاف الجوي:

في الطبقات العليا من الغلاف الجوي للأرض فأن الأشعة فوق البنفسجية و الأشعة السينية تتفاعل مع جزئيات و ذرات الغازات ، مما ينتج عنه الكترونيات و ذرات حرة في احدي طبقات الغلاف الجوي. تسمي هذه الطبقة بالايونوسفير أو طبقة التأين الحر وهي تمتد من ارتفاع حوالي ٥٠ كيلومتر من سطح الأرض إلي ارتفاع حوالي ١٠٠٠ كيلومتر أو أكثر. تؤثر طبقة الأيونوسفير علي إشارات الجي بي أس المرسلة من الأقمار الصناعية بصورة تجعل الإشارة أسرع قليلا من سرعة الضوء ، أي أن المسافة المحسوبة بين المستقبل و القمر الصناعي ستكون أقصر (في حالة استخدام أرصاد الطور) و أطول (في حالة استخدام أرصاد الشفرة) من المسافة الحقيقية ، مما سينتج عنه خطأ في تحديد إحداثيات موقع الرصد. يعتمد تأثير خطأ الأيونوسفير علي دورة النشاط الشمسي التي تتكرر كل ١١ سنة ويبلغ أقصي تأثير له عند قمة هذه الدورة حيث تبلغ كمية الإشعاع الشمسي أقصي مدي لها (حدثت آخر قمة لدورة الإشعاع الشمسي في عام ٢٠٠١ أي أن القمة التالية ستكون في أكتوبر ٢٠١١). كما يزداد النشاط الشمسي (ومن ثم تأثير الأيونوسفير) في الحزام الجغرافي ±٣٠° خط الاستواء المغناطيسي و في مناطق الشفق القطبية (شكل ٣-١٣) [١٦]. عامة يتراوح تأثير خطأ الأيونوسفير في تحديد الإحداثيات من ٥ إلي ١٥ متر ، وقد يبلغ حوالي ١٥٠ متر في فترة الإشعاع الشمسي القصوى وخاصة بالقرب من المستوي الأفقي Horizon في فترة منتصف اليوم [١٧]. حيث أن تأثير الأيونوسفير يختلف باختلاف تردد الموجة فقد تمكن العلماء من استنباط طرق رياضية لحساب هذا التأثير عند استخدام أجهزة استقبال ثنائية التردد (أي تستقبل إشارات الأقمار الصناعية علي كلا الترددين L1 and L2). وهذا هو السبب وراء أن هذه الأجهزة ثنائية التردد هي المستخدمة في الأعمال الجيوديسية التي تتطلب دقة عالية في تحديد المواقع (مثل إنشاء شبكات

[16] صالح ، حسين عزيز ، ٢٠٠٨، نظام التعيين الاحداثي العالمي: الجي بي أس ، متاح في: http://iridia.ulb.ac.be/~hsaleh/

[17] Al-Rabbany, A., 2002, Introduction to GPS: The Global Positioning System, Artech House, Inc., Boston, USA.

الثوابت الأرضية)، بينما الأجهزة أحادية التردد (L1 فقط) تستخدم في تطبيقات الرفع المساحي التي لا تطلب إلا دقة سنتيمترات.




**شكل ٣-١٣**
**مناطق النشاط الشمسي المرتفع**

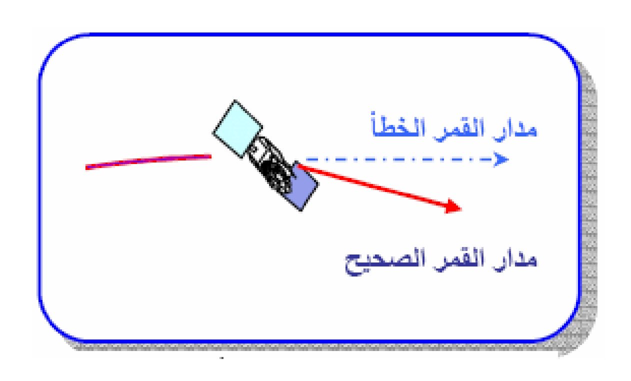
خطأ ساعة القمر الصناعي:

مع أن الساعات الموجودة في الأقمار الصناعية هي ساعات ذرية دقيقة جدا ، إلا أنها ليست تامة الدقة perfect وتكون دقتها في حدود من ٨.٦٤ إلي ١٧.٢٨ نانوثانية/يوم (النانو ثانية هو الجزء من المليار من الثانية الواحدة). وهذه الدقة في قياس الزمن في القمر الصناعي تعادل دقة تتراوح بين ٢.٥٩ و ٥.١٨ متر في قياس المسافة بين القمر الصناعي و جهاز الاستقبال. يقوم قسم التحكم و السيطرة – في منظومة الجي بي أس – بمراقبة أداء الساعات الموجودة في الأقمار الصناعية وحساب قيمة أي أخطاء بها ومن ثم يرسل هذه التصحيحات إلي الأقمار الصناعية و التي تقوم بدورها في إعادة بث هذه المعلومات – داخل الرسالة الملاحية – إلي المستخدمين لأخذها في الاعتبار. إلا أن هذه التصحيحات لا تكون كافية تماما ويتبقي جزء بسيط من الخطأ يؤدي لوجود خطأ - في حساب إحداثيات أجهزة الاستقبال - في حدود أمتار قليلة.

خطأ مدار القمر الصناعي:

مدار كل قمر صناعي يتم حسابه بواسطة محطة التحكم و السيطرة و إرساله للأقمار الصناعية التي بدورها ترسله للمستخدمين داخل ما يعرف بالرسالة الملاحية في الإشارات. لكن القوي الحقيقية في الفضاء الخارجي المؤثرة علي حركة القمر الصناعي في مداره لا تكون في الصورة المثلي المستخدمة في النماذج الرياضية لحساب مدار كل قمر صناعي ، مما سينتج

عنه اختلاف بين المدار المحسوب (أي إحداثيات القمر الصناعي) و المدار الحقيقي (شكل ٣-١٤). عامة يبلغ خطأ المدار قيمة تتراوح بين ٢ و ٥ متر [18].




**شكل ٣-١٤**
**خطأ مدار الأقمار الصناعية**

خطأ ساعة جهاز الاستقبال:

تستخدم أجهزة الاستقبال في قياس الزمن ساعات أرخص وأقل دقة من الساعات الذرية الموجودة في الأقمار الصناعية ، مما ينتج عنه خطأ في قياس المسافة لبن القمر و المستقبل تكون قيمته أكبر بكثير من خطأ ساعة القمر الصناعي. لكن أخطاء ساعة جهاز الاستقبال يمكن معالجتها بعدة طرق منها طريقة إضافة مجهول أثناء عملية حل المعادلات في حسابات إحداثيات جهاز الاستقبال (المعادلتين ٣-٣ و ٣-٤).

خطأ هوائي جهاز الاستقبال:

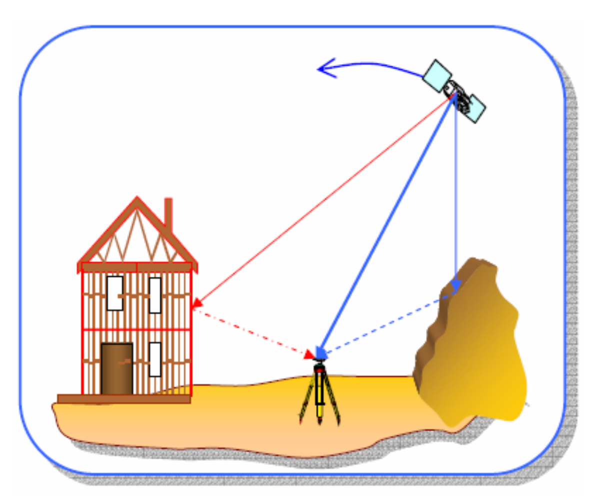
من أهم خصائص هوائي جهاز الاستقبال Receiver Antenna دقة تحديد نقطة التقاط الأشعة القادمة من الأقمار الصناعية وهي المسماه "مركز طور الهوائي Antenna Phase Center". عامة لا ينطبق مركز طور الهوائي مع المركز الهندسي للهوائي ، حيث أنه يختلف عنه بناءا علي ارتفاع و انحراف القمر الصناعي أثناء الرصد. ويؤدي ذلك الاختلاف إلي خطأ في قياس المسافات و حساب إحداثيات جهاز الاستقبال. تختلف قيمة خطأ الهوائي باختلاف نوع الهوائي ذاته ، ويكون عادة في حدود سنتيمترات قليلة. وتوجد أنواه من الهوائيات للأجهزة المساحية العادية و أنواع أخري للأجهزة الجيوديسية التي تتطلب دقة عالية في تحديد المواقع.

خطأ تعدد المسار:

يعد خطأ تعدد المسار من أهم و أخطر أنواع مصادر الأخطاء في قياسات الجي بي أس. ينتج هذا الخطأ عندما تصل إشارات الأقمار الصناعية إلي جهاز الاستقبال من خلال مسارات متعددة ، أي تصطدم الإشارة بعائق (شجرة أو مبني أو جسم معدني أو سطح مائي مثلا) ثم ترتد إلي جهاز الاستقبال (شكل ٣-١٥). من الممكن أن يصل تأثير هذا الخطأ إلي ٥ متر عند استخدام قياسات الطور علي التردد الأول L1 ، بينما قد يصل إلي عشرات الأمتار عند استخدام أرصاد

[18] Al-Rabbany, A., 2002, Introduction to GPS: The Global Positioning System, Artech House, Inc., Boston, USA.

الشفرة. من هنا جاءت أهمية اختيار أماكن أجهزة الاستقبال بصورة مناسبة لتفادي هذا الخطأ ، كما توجد أيضا أنواع من هوائيات أجهزة الاستقبال (تسمي Chock-Ring Antenna) تقلل بنسبة كبيرة من أخطاء تعدد المسار (شكل ٣-١٦).



**شكل ٣-١٥**
**خطأ تعدد المسارات**



**شكل ٣-١٦**
**نوع هوائي يقلل خطأ تعدد المسارات**

تأثير الوضع الهندسي للأقمار الصناعية:

بالإضافة لمصادر الأخطاء السابقة (سواء تلك الناتجة من الأقمار الصناعية أو أجهزة الاستقبال أو الإشارات) فأن الوضع الهندسي لمواقع الأقمار الصناعية أثناء فترة الرصد يؤثر أيضا علي دقة الإحداثيات الأرضية المستنتجة. إن التوزيع الجيد لمواقع الأقمار الصناعية في السماء يعطي دقة جيدة في حساب مواقع المستقبلات الأرضية ، بينما يتوقع أن يؤثر التوزيع السيئ لمواقع الأقمار علي دقة الإحداثيات المستنتجة (شكل ٣-١٧) [١٩]. يتم التعبير عن تأثير مواقع الأقمار الصناعية باستخدام معامل يسمي "معامل الدقة Dilution of Precision" ويرمز له بالرمز DOP ، ويوجد منه عدة أنواع بناء علي المستوي المطلوب الحساب به. تشتمل معاملات الدقة علي أنواع:

[19] المؤسسة العامة للتعليم الفني و التدريب المهني ، ١٤٢٦ هـ ، نظام تحديد المواقع العالمي ، مقرر دراسي لطلاب الكليات التقنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.

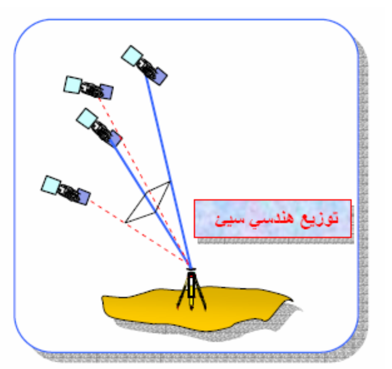
- معامل الدقة الأفقية ويرمز له بالرمز HDOP.
- معامل الدقة الرأسية ويرمز له بالرمز VDOP.
- معامل الدقة ثلاثية الأبعاد ويرمز له بالرمز PDOP.
- معامل الدقة الهندسية (رباعية الأبعاد) ويرمز له بالرمز GDOP.
- معامل الدقة الزمنية ويرمز له بالرمز TDOP.

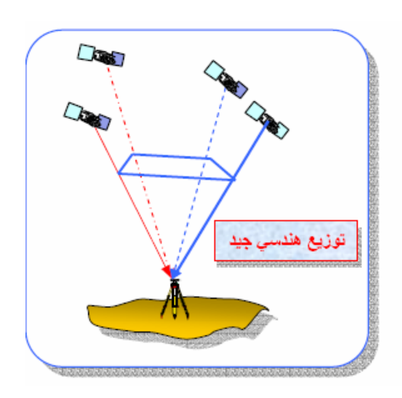
يمكن حساب الدقة المتوقعة لتحديد المواقع بالجي بي أس من المعادلة:

$$A_p = DOP \times A_m \qquad (3\text{-}6)$$

حيث $A_p$ تعبر عن دقة الموقع ، $A_m$ تعبر عن دقة القياس.

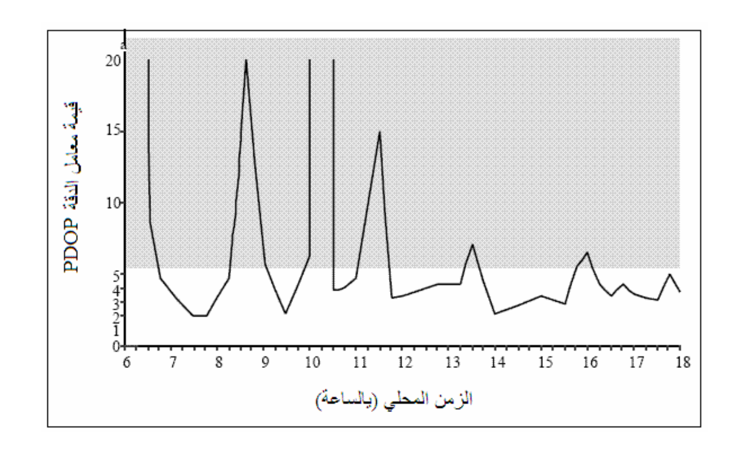
بما أن مواقع الأقمار الصناعية في الفترة المستقبلة تكون محسوبة وموجودة داخل الرسالة الملاحية لكل قمر صناعي (almanac) فأنه يمكن حساب قيم معاملات الدقة دون الحاجة للرصد الفعلي. أي إذا عرفنا الموقع الجغرافي التقريبي المطلوب العمل به فيمكن لبرامج حسابات الجي بي أس أن تقوم بحساب قيم DOP ليوم الرصد المطلوب ، ومن هنا يمكن اختيار الفترات الزمنية التي يكون فيها معامل الدقة أحسن ما يمكن وتجنب تلك الفترات التي يكون بها توزيع الأقمار الصناعية سيئا (شكل ٣-١٨). وهذه الخطوة مهمة بالفعل للأعمال الجيوديسية التي تتطلب دقة عالية في تحديد المواقع. للوصول لدقة عالية في تحديد المواقع يوصي بأن تكون معامل الدقة ثلاثية الأبعاد PDOP ٥-٦ أو أقل[20].




**شكل ٣-١٧**
**تأثير توزيع الأقمار الصناعية**

[20] Natural Resources Canada, 1995, GPS positioning guide, Third Edition, Ottawa, Canada.




**شكل ٣-١٨**

**مثال لحساب معاملات الدقة و التأثير المتوقع لتوزيع الأقمار الصناعية**

### ٣-٦ خطة تحديث تقنية الجي بي أس:

بعد مرور حوالي ثلاثون عاما من بزوغ تقنية الجي بي أس ازداد عدد مستخدميه إلي حوالي ٢٠ مليون مستخدما حول العالم ، مما زادت معه الحاجة لتطوير هذه التقنية بصورة تلبي طموحات كل هؤلاء المستخدمين سواء العسكريين أو المدنيين. وفي ٢٥ يناير ١٩٩٩ أعلن نائب الريس الأمريكي رسميا رصد ميزانية تبلغ ٤٠٠ مليون دولار لتنفيذ خطة تطوير الجي بي أس. تشمل الأهداف الأساسية للخطة إضافة تحسينات تقنية لكلا من قطاع الفضاء (الأقمار الصناعية) وقطاع التحكم و السيطرة وذلك عن طريق إضافة أنواع جديدة من الإشارات بهدف زيادة جودة الخدمة للقطاعات العسكرية و المدنية وأيضا العلمية حول العالم. من المتوقع أن تستمر خطة تحديث الجي بي أس عدة سنوات حتى اكتمالها النهائي بحدود عام ٢٠١٥ [٢١].

بدأت أولي خطوات خطة تطوير الجي بي أس من خلال تطوير نسخة معدلة من الجيل الثاني للأقمار الصناعية والتي سميت أقمار IIR-M (بدلا من IIR). تتمتع هذه الأقمار المعدلة بإمكانية بث أو إرسال نوع جديد من الشفرة المدنية علي التردد الثاني (L2) والتي أطلق عليها اسم شفرة L2C بالإضافة لإرسال شفرة عسكرية جديدة سميت الشفرة (M) علي كلا الترددين L1 و L2. ويدا إطلاق أول قمر من هذا الجيل المعدل IIR-M في عام ٢٠٠٥. إن إضافة شفرة مدنية ثانية (مع الشفرة المدنية الحالية C/A) سيتيح إمكانية تصحيح خطأ طبقة الأيونوسفير للأجهزة الملاحية و الجيوديسية ، مما سينعكس علي زيادة دقتها في تحديد المواقع بصورة كبيرة.

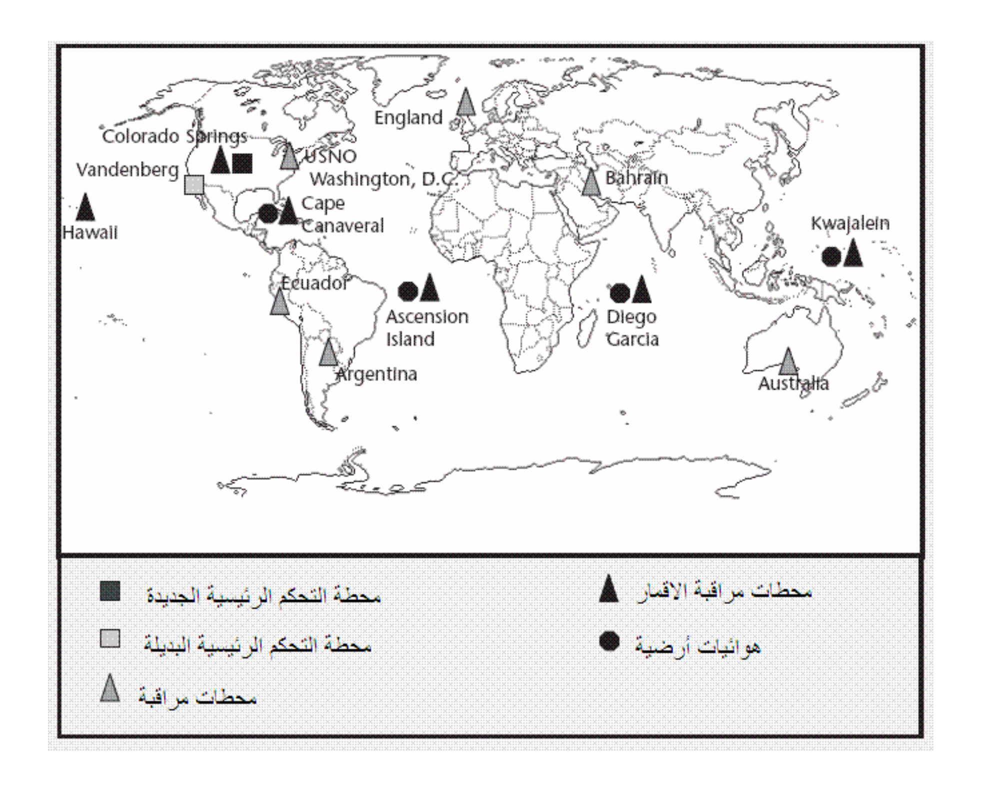
تأتي ثاني خطوات خطة تطوير الجي بي أس من خلال البدء في تصميم و إنتاج و إطلاق جيل فرعي آخر من أقمار الجيل الثاني - أطلق عليها أقمار IIF وعددهم ١٢ قمرا – والتي ستكون أهم خصائصها إرسال إشارة أو تردد ثالث جديد (بجانب الترددين الأساسين L1, L2) والذي أطلق عليه اسم تردد L5 وقيمته ١١٧٦.٤٥ ميجاهرتز ، وذلك بالإضافة لبث الشفرتين الجديدتين L2C و M. كما أن العمر الافتراضي لهذا الجيل من الأقمار الصناعية سيبلغ ١١.٣

[21] Prasad, R. and Ruggieri, M., 2005, Applied satellite navigation using GPS, Galileo and augmentation systems, Artech House, Inc., Boston, USA

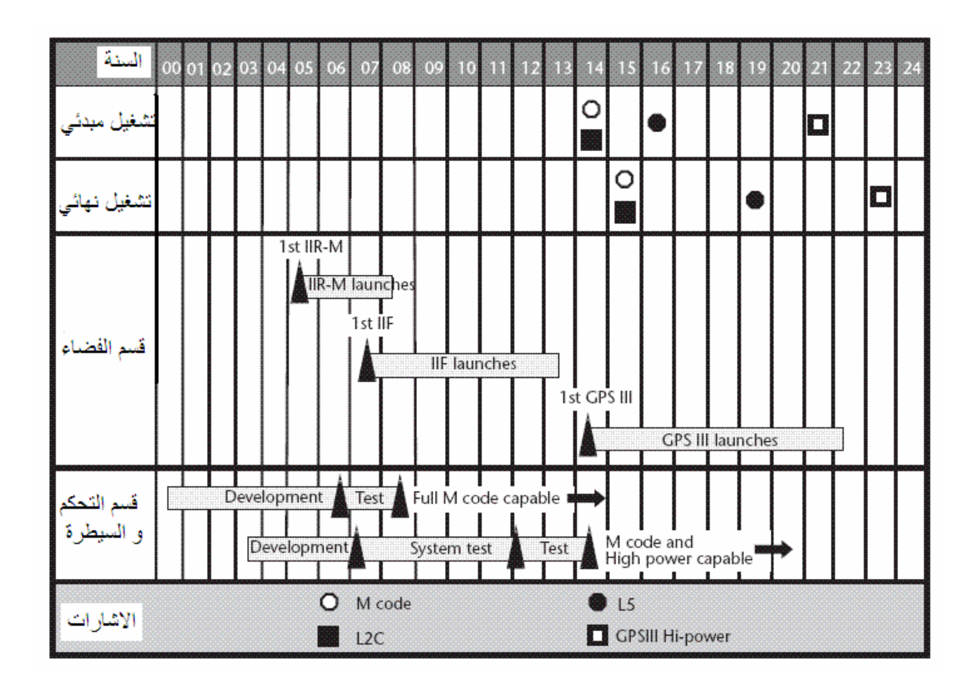
سنة ، ومن الموقع أن يبدأ التردد الثالث بحلول عام ٢٠١٦ ويكتمل (يتم بثه في جميع الأقمار الصناعية) في عام ٢٠١٩.

أيضا تشتمل خطة تطوير الجي بي أس علي تصميم و إنتاج الجيل الثالث من الأقمار الصناعية Block-III والذي سيكون نقلة هامة جدا في تطوير أقمار الجي بي أس. من المتوقع بدء إطلاق أقمار الجيل الثالث في عام ٢٠٢١ والانتهاء من إطلاق جميع الأقمار – وعددهم يتراوح بين ٢٧ و ٣٣ قمرا – في ٢٠٢٣.

كما تشتمل خطة تطوير الجي بي أس علي تطوير قسم التحكم و السيطرة – بدأ فعلا في عام ٢٠٠٠ – بهدف تخفيض تكلفة تشغيل القسم و زيادة كفاءة مهامه. وفي هذا الجزء من التطوير سيتم إحلال منشئات محطة التحكم الرئيسية وإضافة إمكانيات متابعة و مراقبة التردد و الإشارات الجديدة وتحديث أجهزة الكمبيوتر العملاقة بقسم التحكم و السيطرة وأيضا إضافة محطات متابعة جديدة (شكل ٣-١٩) لمراقبة أداء و كفاءة عمل الأقمار الصناعية. ويقدم الشكل (٣-٢٠) المخطط الزمني التقريبي لتنفيذ خطة تطوير منظومة الجي بي أس.




**شكل ٣-١٩**
**محطات المراقبة و السيطرة الجديدة**




**شكل ٣-٢٠**
**المخطط الزمني لتنفيذ خطة تطوير الجي بي أس**

إن خطة تطوير تقنية الجي بي أس ستكون لها العديد من المزايا ، من وجهة نظر مستخدمي النظام ، بصورة لم يسبق لها مثيل منذ بدء تطبيق الجي بي أس. فإذا أخذنا عامل دقة الإحداثيات (تحديد المواقع) باستخدام الخدمة المدنية القياسية SPS فأن الدقة ستنخفض من حدودها الحالية (١٠-٢٠ متر) بنسبة ٥٠% بحلول عام ٢٠١٥ (لتصبح ٥-١٠ متر) بالاعتماد علي الإشارتين المدنيتين C/A الحالية و L2C المتوقعة ، وبحلول عام ٢٠١٩ ومع إتاحة التردد الثالث L5 فأن الدقة ستتحسن بنسبة ٥٠% أخري لتصل إلي حدود ١-٥ متر باستخدام أجهزة الاستقبال الملاحية رخيصة السعر [٢٢]. سيؤدي ذلك لجودة أكثر في تجميع المعلومات المكانية الخاصة بتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية GIS وأيضا تطبيقات الاستشعار عن بعد ، كما ستصبح الأعمال الجيوديسية عالية الدقة تتم بصورة أسرع وبالتالي أرخص للوصول لدقة السنتيمترات أو حتى الملليمترات [٢٣].

## ٣-٧ نظم ملاحية أخري لتحديد المواقع:

لا يعد الجي بي أس هو النظام الملاحي الوحيد المتوافر حاليا لتحديد المواقع باستخدام الأقمار الصناعية ، فتوجد عدة نظم شبيهه سواء نظم عالمية (تغطي خدماتها كل الأرض) أو نظم إقليمية (تغطي خدماتها مناطق معينة). وسنلقي الضوء – في الجزء القادم – علي بعض هذه النظم.

### ٣-٧-١ النظام الروسي جلوناس:

تتشابه بدايات النظام الروسي للملاحة بالأقمار الصناعية (أسمه باللغة الروسية هو: GLObal'naya NAvigatsionnaya Sputnikovaya Sistema وبالانجليزية: GLObal Navigation Satellite System) المعروف اختصارا باسم جلوناس GLONASS مع بدايات الجي بي أس من حيث أنه نظام عسكري بدأ التفكير بتطويره في عام ١٩٧٦ أثناء فترة الحرب الباردة بين الولايات المتحدة الأمريكية والاتحاد السوفيتي السابق (روسيا الآن) ، كما أنه مثل الجي بي أس فيدار بواسطة وزارة الدفاع. في ١٢ أكتوبر ١٩٨٢ تم إطلاق أول قمر صناعي في نظام جلوناس وأعلن النظام يعمل مبدئيا في ٢٤ سبتمبر ١٩٩٣.

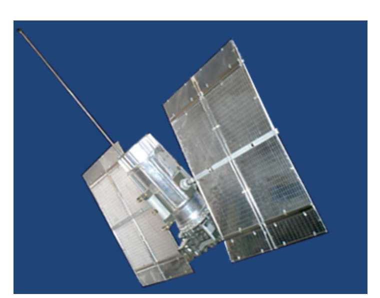
يتكون نظام جلوناس – رسميا – من ٢١ قمرا صناعيا موزعة في ٣ مدارات حول سطح الأرض ، وتدور علي ارتفاع ١٩١٠٠ كيلومتر من سطح الأرض وزاوية ميل ٦٤.٨° بحيث يكمل كل قمر (شكل ٣-٢١) دورة حول الأرض كل ١١ ساعة و ١٥ دقيقة. يرسل كل قمر صناعي نوعين من الخدمات: الإشارة الدقيقة Precision Signal أو اختصارا SP ، الإشارة عالية الدقة High-Precision Signal أو اختصارا HP علي ترددات تتراوح بين ١٦٠٢.٥٦٢٥ و ١٦١٥.٥ ميجاهرتز(في النطاق المعروف باسم تردد L1). تبلغ الدقة المدنية جراء استخدام إشارات نظام جلوناس حوالي ٥٥ متر أفقيا و ٧٠ متر رأسيا عند رصد ٤ أقمار صناعية ، لكن دقة الإشارة عالية الدقة HP تكون أدق بكثير من هذه المستويات. من المتوقع

[22] Prasad, R. and Ruggieri, M., 2005, Applied satellite navigation using GPS, Galileo and augmentation systems, Artech House, Inc., Boston, USA

[23] Dawod, G., 2003, Modernization plan of GPS in 21st century and its impacts on surveying applications, Proceedings of Al-Azhar Seventh International Engineering Conference (CD No. 3), Al-Azhar University, Cairo, Egypt, April 7-10.

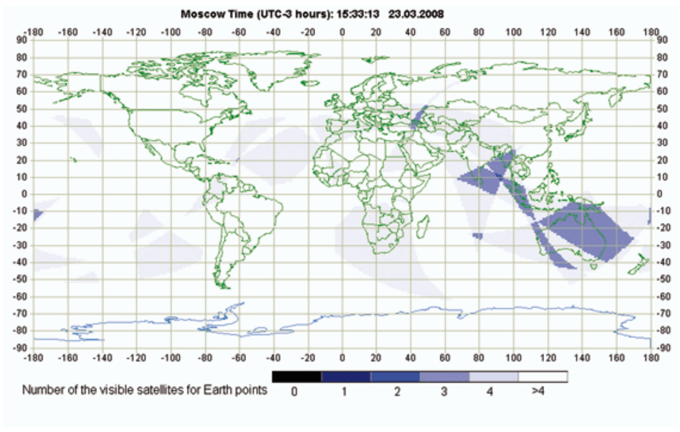
أن تصل دقة نظام جلوناس لتحديد المواقع إلي حدود نفس الدقة التي يوفرها الجي بي أس بحلول عام ٢٠١١ [٢٤]. تقع محطة التحكم الرئيسية في موسكو بينما توجد ٤ محطات مراقبة أخري داخل الأراضي الروسية [٢٥].

أثرت الأزمات المالية - في روسيا - بشدة علي استكمال خطوات تطوير جلوناس مما لم يجعل النظام يصل لحالته النهائية الكاملة. وحتى سبتمبر ٢٠٠٩ فلا يوجد إلا ١٩ قمرا صناعيا في نظام جلوناس منهم ١٧ قمرا عاملا فقط بينما هناك قمرين في مرحلة الصيانة ، إلا أنه من المتوقع اكتمال النظام بحلول عام ٢٠١١ [٢٦]. وبذلك فما زالت تغطية جلوناس لم تبلغ التغطية الكاملة لكل سطح الأرض (شكل ٣-٢٢).



**شكل ٣-٢١**

**أحد الأقمار الصناعية في نظام جلوناس**




**شكل ٣-٢٢**

**تغطية نظام جلوناس في مارس ٢٠٠٨**

[24] Fugro Chance Inc., 2007, GNSS status and plans, website: http://www.fugro.com

[25] Cojocaru, S., Birsan, E., Battinca, G., and Arsenie, P., 2009, GPS-GLONASS_GALILEO: A dynamical comparison, Journal of Navigation, 62: 135-150.

[26] Russian Space Agency, 2009, GLONASS constellation status as 06.09.2009, website: http://www.glonass-ianc.rsa.ru/pls/htmldb/f?p=202:20:14637162736231801312::NO:::

### ٣-٧-٢ النظام الأوروبي جاليليو:

في عام ١٩٩٩ تم اقتراح إقامة نظام جاليليو كمشروع مشترك بين الاتحاد الأوروبي EU و وكالة الفضاء الأوروبية ESA كبديل مدني تديره جهة مدنية بعكس وزارتي الدفاع اللتين تديران كلا من الجي بي أس و جلوناس. كما أن مشروع نظام ملاحي فضائي بهذا الحجم سيتيح قدرات هائلة للصناعة في الدول الأوروبية التي تشترك في تنفيذه ، حيث من المتوقع أن يتيح المشروع وظائف لحوالي ١٠٠ ألف شخص في أوروبا ، وسيكون العائد الاقتصادي للنظام ضخما حيث سيبلغ عدد مستخدميه ٣.٦ مليون مستخدم حتى عام ٢٠٢٠. كما تم السماح لعدة دول غير أوروبية (مثل الصين و كوريا الجنوبية و إسرائيل و المغرب و السعودية) بالمشاركة في تطوير جاليليو عن طريق المساعدات المادية أو الصناعية أو البحثية [٢٧]. اكتملت الدراسات التقنية المبدئية لهذا المشروع العملاق ، وبدأت مرحلة التطوير في عام ٢٠٠١ ، ومن المتوقع اكتمال النظام في عام ٢٠١٢ [٢٨].

سيتكون نظام جاليليو من ٣٠ قمر صناعي (٢٧ قمر عامل + ٣ أقمار احتياطية) موزعين في ثلاثة مدارات تميل بزاوية ٥٦° و علي ارتفاع ٢٣٦١٦ كيلومتر من سطح الأرض ، بحيث يكمل كل قمر دورة حول الأرض كل ١٤ ساعة و ٧ دقائق. وسيكون هناك مركزين أرضيين للمراقبة و التحكم في الأقمار الصناعية. ستقوم الأقمار الصناعية في نظام جاليليو ببث ١٠ إشارات: ٦ مخصصة للخدمة العامة و خدمة البحث و الانقاذ ، ٢ للخدمة التجارية ، ٢ لخدمة المرافق العامة. وستكون الإشارات في نطاقين من الترددات: ١١٦٤-١٢١٥ ميجاهرتز ، ١٥٥٩-١٥٩١ ميجاهرتز [٢٩].

تم إطلاق أول قمر صناعي في منظومة جاليليو (GIOVE-A) في ٢٨ ديسمبر ٢٠٠٥ وكان إطلاق القمر التجريبي الثاني ( GIOVE-B) في عام ٢٠٠٨ لوضع اللمسات النهائية علي النظام و مواصفاته و التأكد من تشغيله بجودة عالية (شكل ٣-٢٣).

توجد عدة خدمات (أو أنظمة) لاستخدام جاليليو:

١- الخدمة المفتوحة (Open Service (OS وهي الخدمة المجانية المتاحة لجميع المستخدمين في العالم والتي من المتوقع أن تكون دقتها في حدود ٤ متر أفقيا و ٨ متر رأسيا للأجهزة ثنائية التردد.
٢- خدمة سلامة الأرواح (Safety of Live Service (SoL وتتميز عن الخدمة المفتوحة بإرسال رسائل وقتية (إنذارات) للمستخدم في حالة حدوث أي مشاكل في النظام لا تسمح بضمان دقة الإحداثيات المحسوبة،
٣- الخدمة التجارية (Commercial Service (CR وهي خدمة تجارية باشتراك ودقتها أحسن من دقة الخدمة المفتوحة.

---

27 Mendizabal, J., Berenguer, R., and Melendez, J., 2009, GPS & Galileo: Dual RF front-end receiver and design, fabrication, and test, McGraw Hill Co., New York, USA.
28 Navarro-Reyes, D., 2007, Galileo program status and ongoing GIOVE experimentation, Presented at the EGU general assembly, Vienna, Austria, April 16.
29 European Space Agency (ESA) website at: http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/galileo/intro/index_en.htm

٤- خدمة المرافق العامة Public Regulated Service (PRS) وهي خدمة خاصة للمرافق العامة مثل الشرطة والإسعاف و المطافي وخاصة في أوقات الطوارئ أو الحروب حيث من الممكن أن تتأثر الخدمة العامة.
٥- خدمة البحث و الإنقاذ Search and Rescue Service (S&R) وهي خاصة ستضاف للنظم العالمية الموجودة حاليا لتحسن من دقتها في أعمال الإغاثة والإنقاذ.




**شكل ٣-٢٣**
**الأقمار التجريبية في نظام جاليليو**

### ٣-٧-٣ النظام الصيني بيدو:

بدأ نظام بيدو (أو البوصلة) كنظام ملاحي يهدف لتغطية الصين فقط ، إلا أنه تطور لاحقا بهدف تحقيق تغطية إقليمية ثم الوصول بعد ذلك إلي التغطية العالمية. من المتوقع أن يتكون النظام من ٥ أقمار صناعية ثابتة المدار Geostationary Erath Orbit Satellites أو اختصارا GEO بالإضافة إلي ٣٠ قمرا صناعيا متوسطة المدار Medium Earth Orbiting Satellites أو اختصارا MEO موزعين في ٦ مدارات علي ارتفاع ٢١٥٠٠ كيلومتر من سطح الأرض وبزاوية ميل ٥٥° [٣٠] ، وينتظر اكتمال هذا النظام بحلول عام ٢٠١٥. ترسل الأقمار الصناعية إشارتها في عدد من الترددات: ١١٩٥.١٤ ، ١٢١٩.١٤ ، ١٢٥٦.٥٢-١٢٨٠.٥٢، ١٥٥٩.٠٥-١٥٦٣.١٥ ، ١٥٨٧.٦٩-١٥٩١.٧٩ ميجاهرتز[٣١]. تم إطلاق القمر الصناعي الثاني في هذا النظام الصيني في ١٤ أبريل ٢٠٠٩ ، والذي قامت الأكاديمية الصينية للفضاء و التكنولوجيا بتصنيعه (شكل ٣-٢٤). يتكون قطاع التحكم والسيطرة من ٣ محطات: محطة تحكم رئيسية ، محطة متابعة ، و محطة إرسال بيانات للأقمار الصناعية. من المتوقع أن يوفر نظام البوصلة خدماته بأسلوبين: الخدمة المفتوحة Open Service لكل المستخدمين والتي ستوفر دقة تحديد المواقع في حدود ١٠ متر ، الخدمة الخاصة Authorized Service للمستخدمين الخاصين.

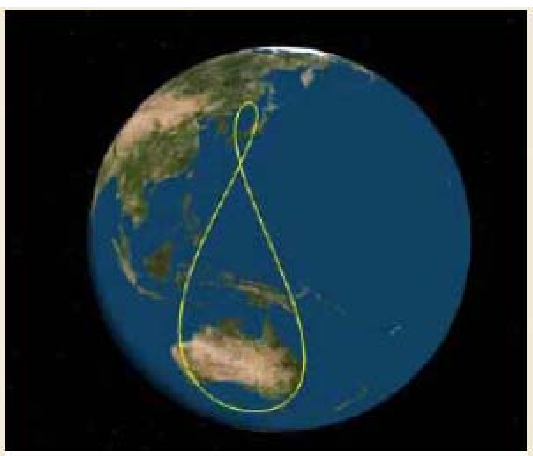
[30] InsideGNSS Magazine, 2006, Compass and China's GNSS makes four, available at: http://www.insidegnss.com/node/115
[31] InsideGNSS Magazine, 2008, China adds details to Compass (Beidou II) signal plans, available at: http://www.insidegnss.com/node/803



**شكل ٣-٢٤**
**إطلاق قمر صناعي صيني**

### ٣-٧-٤ نظم ملاحية إقليمية:

بالإضافة للنظم الملاحية الأربعة (الجي بي أس و جلوناس و جاليليو و بيدو) التي لها تغطية عالمية فتوجد عدة نظم ملاحية أخري تهدف لزيادة كفاءة الملاحة بالأقمار الصناعية في مناطق محددة من الأرض. قامت اليابان بتطوير نظام QZSS (مكون من ٣ أقمار صناعية) ليغطي حدودها الإقليمية (شكل ٣-٢٥). أيضا تقوم الهند بتطوير نظام ملاحي إقليمي – يسمي IRNSS – ليتم الانتهاء منه فيما بين عامي ٢٠٠٨ و ٢٠١١ ليزيد كفاءة الملاحة في حدودها الجغرافية الإقليمية.



**شكل ٣-٢٥**
**مجال تغطية النظام الياباني الإقليمي QZSS**

### ٣-٨ النظم العالمية للملاحة بالأقمار الصناعية:

مع نهاية التسعينات من القرن العشرين الميلادي استأنفت روسيا إطلاق الأقمار الصناعية لنظامها العالمي جلوناس ، مما بدأ معه تفكير العلماء و المستخدمين في إمكانية استخدام كلا النظامين معا. ومنذ ذلك الحين ظهر مصطلح "النظم العالمية للملاحة بالأقمار الصناعية

"Global Navigation Satellite Systems" والذي عرف اختصارا باسم GNSS. وتوسع مفهوم GNSS لاحقا ليصبح إمكانية استخدام ٤ نظم ملاحية عالمية في إطار متكامل (الجي بي أس و الجلوناس و جاليليو و بيدو).

بالطبع فأن هذه الإمكانية – عند تحقيقها الكامل قريبا- سيكون لها مميزات تقنية رائعة ، فعلي سبيل المثال سيزداد عدد الأقمار الصناعية المتاحة للرصد في أي موقع جغرافي في العالم مما سينعكس علي خفض الوقت اللازم لتجميع البيانات الحقلية وأيضا ستزيد مستويات دقة تحديد المواقع.

سيبلغ حجم السوق المتوقع لنظم GNSS حوالي ٢٩٠ مليار دولار أمريكي بحلول عام ٢٠١٨[٣٢]، حيث بدأ بالفعل ظهور أجهزة استقبال GNSS تستطيع استقبال و التعامل مع إشارات عدة نظم (حتى الوصول لعدد ٤ نظم عالمية). فعلي سبيل المثال فقد أنتجت شركة ليكا السويسرية أول هوائي يستقبل إشارات الأقمار الصناعية للنظم الأربعة من نظم GNSS (شكل ٣-٢٦) وكذلك طورت شركة توبكون جهاز استقبال G3 وطورت شركة ترمبل جهاز R8 و الذين يستقبلان إشارات الجي بي أس و جلوناس و جاليليو (شكل ٣-٢٧).

حديثا تم إجراء عدد من الدراسات الجيوديسية التطبيقية باستخدام بيانات GNSS مثل تقييم نماذج الجيويد العالمية [٣٣]، استنباط طرق جديدة عالية الكفاءة للحصول علي إشارات الأقمار الصناعية المتعددة [٣٤] ، الحصول علي قيم المناسيب من أرصاد GNSS [٣٥] .



**شكل ٣-٢٦**
**موديل AR25 لهوائي GNSS من إنتاج شركة ليكا**

[32] Kaplan, E. and Hegarty, C., 2006, Understanding GPS: Principles and applications, Second Edition, Artech House, Inc., Boston, USA.

[33] Feathersotne, W., 2008, GNSS-based heighting in Australia: Current, emerging and future issues, Spatial Science, V. 53, No. 2, pp. 115-134.

[34] Borio, D., 2008, A statistical theory for GNSS signal acquisition, PhD Dissertation, Politecbco Di Torino, 291 pp.

[35] Raizner, C., 2008, A regional analysis of GNSS-levelling, MSC Thesis, Stuttgart University, 133 pp.




**شكل ٣-٢٧**
**أجهزة استقبال GNSS**

### ٣-٩ نظم الازدياد:

نظم الازدياد (أو التكبير أو التعزيز) Augmentation Systems هي نظم تهدف لزيادة دقة و جودة تحديد المواقع باستخدام جهاز استقبال واحد Stand-alone. المبدأ النظري وراء تطوير مثل هذه النظم يعتمد علي حساب تصحيح لإشارات الأقمار الصناعية المرصودة (يتم حسابه من خلال أجهزة تحتل نقاط معلومة الإحداثيات) وبث هذا التصحيح في نطاق منطقة جغرافية محددة بحيث يكون جهاز الجي بي أس قادرا علي استقباله ومن ثم يقوم بتصحيح الإحداثيات التي يحصل عليها من نظام الجي بي أس [٣٦]. يتم بث هذه التصحيحات بعدة طرق: إما باستخدام البث الراديوي اللاسلكي ، أو بإرسال التصحيحات المحسوبة إلي أقمار صناعية خاصة والتي تعيد إرساله مرة أخري لتستقبله المستقبلات الأرضية (تسمي نظم الازدياد بالاعتماد علي الأقمار الصناعية Satellite-Based Augmentation Systems أو اختصارا SBAS)، أو عن طريق شبكات التليفون الخلوي (الموبايل أو الجوال) ، أو عن طريق شبكة المعلومات الدولية (الانترنت). كما تشمل أيضا نظم الازدياد دمج أجهزة استقبال الجي بي أس مع أنواع أخري من الأجهزة الأرضية (مثل أجهزة القصور الذاتي Inertial Sensors) التي تقوم بتحديد المواقع في حالة غياب إشارات الأقمار الصناعية مثلما يحدث في المناطق السكنية أو داخل الأنفاق في المدن الكبرى. باستخدام جهاز جي بي أس يستطيع التعامل مع نظام من نظم الازدياد يمكن حسين دقة تحديد المواقع من عدة أمتار إلي بعض عشرات من السنتيمترات فقط.

من أمثلة نظم الازدياد الموجودة في بعض الدول الأوروبية و العربية:

- نظام الازدياد للمناطق الشاسعة Wide Area Augmentation System المعروف باسم WASS والذي يغطي الولايات المتحدة الأمريكية وتديره وكالة الطيران الاتحادية الأمريكية. يتكون نظام WASS من ٢٥ محطة جيوديسية أرضية

---

[36] العيسي ، سميح يوسف ، ٢٠٠٦ ، مبادئ عمل منظومة التوضع GPS ، شعاع للنشر والعلوم ، حلب ، سوريا.

(شكل ٣-٢٨) ترصد أقمار الجي بي أس وتحسب التصحيحات اللازمة لكل قمر في كل لحظة ، ثم تقوم بإرسال التصحيحات إلي المحطة الرئيسية والتي تقوم بدورها بإرساله إلي القمرين الصناعيين التابعين لمنظومة WASS ، ثم يرسل هذين القمرين التصحيحات من خلال ترددات تستطيع معظم أنواع أجهزة الجي بي أس (مستخدمي WASS) استقبالها لتصحيح مواقعها المحسوبة. تبلغ دقة تحديد المواقع باستخدام GPS/WASS أقل من ٣ أمتار باستخدام أجهزة الاستقبال الملاحية المحمولة يدويا.

- النظام الملاحي الأوروبي الثابت European Geostationary Navigation Overlay Service المعروف اختصارا باسم EGNOS وتديره هيئة الفضاء الأوروبية ويغطي قارة أوروبا (شكل ٣-٢٩) ، ويتيح تصحيحات – من خلال ٣ أقمار صناعية - لكلا من نظام الجي بي أس وأيضا نظام جلوناس [٣٧].
- نظام الازدياد الأمريكي العسكري Wide Area GPS Enhancement أو اختصارا WAGE وتديره وزارة الدفاع الأمريكية للأغراض العسكرية فقط.
- نظام الازدياد متعدد الأغراض Multifunctional Satellite Augmentation System أو MSAS والذي تديره وزارة الأراضي و النقل في اليابان.
- نظام الازدياد لمدينة جده بالمملكة العربية السعودية والذي تديره أمانة جدة (شكل ٣-٢٩)، والذي يوفر دقة أفقية في تحديد المواقع تصل إلي مستوي السنتيمتر [٣٨].
- نظام الازدياد لمدينة دبي بالإمارات العربية المتحدة والذي تديره بلدية دبي (شكل ٣-٣١) ويقدم دقة ٢-٣ سنتيمتر في تحديد المواقع [٣٩].
- نظام الازدياد الملاحي المصري ويسمي: الشبكة الإقليمية المصرية لتحديد المواقع بالأقمار الصناعية باستخدام الأسلوب الفرقي DGPS (تديره الهيئة المصرية لسلامة الملاحة البحرية: مصلحة الموانى و المنائر المصرية سابقا) بغرض تقديم خدماته للسفن المبحرة في كلا البحرين الأحمر و الأبيض المتوسط. يتكون هذا النظام من ٧ محطات أرضية كلا منها تبث إرسالها (خدمة التصحيحات) لاسلكيا في منطقة دائرية يبلغ نصف قطرها حوالي ٢٠٠ كيلومتر [٤٠] (شكل ٣-٣٢).
- نظام الازدياد في مملكة البحرين ومكون من ٥ محطات (شكل ٣-٣٣) [٤١].
- نظام الازدياد (تحت الإنشاء) في العراق والذي يبث تصحيحاته من خلال شبكات التليفون الجوال [٤٢].

---

[37] European Space Agency, 2009b, EGNOS project website at: http://www.esa.int/esaNA/egnos.html

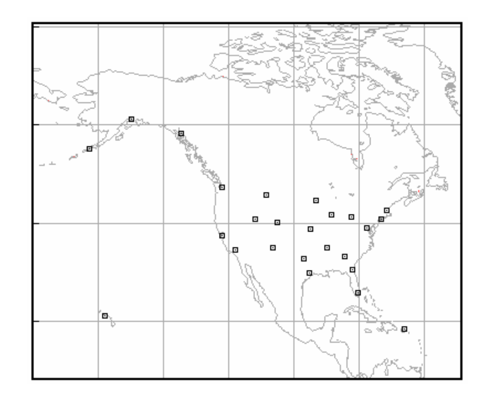
[38] موسي ، أشرف القطب ، ٢٠٠٨، دليل منظومة الأمانة للمحطات الدائمة للنظام العالمي لتحديد المواقع بأمانة جده، تقرير أمانة محافظة جدة ، المملكة العربية السعودية.

[39] Al Marzooqi, Y., Fashir, H., and Babiker, T., 2005, Establishment & testing of Dubai Virtual Reference System (DVRS) national GPS-RTK network, Available at: http://www.gisdevelopment.net/technology/gps/me05_131.htm

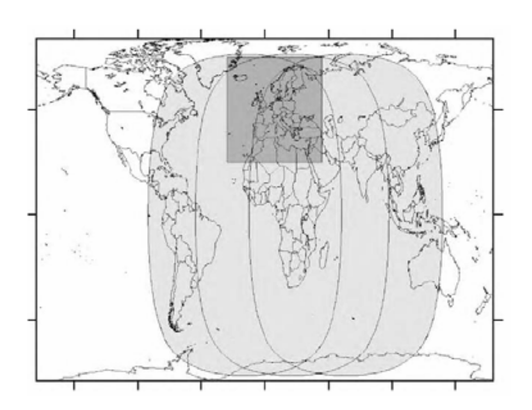
[40] علي ، رمضان سالم محمد ، ٢٠٠٩ ، أساسيات نظام الملاحة العالمي بالأقمار الصناعية ، متاح في: http://ramadansalem.webs.com/GPS%20Basics.pdf

[41] Hadi, W. and Tuckerman, P., 2007, Kingdom of Bahrain GPS permanent reference network, Presented at the Map Middle East 2007 conference, April 11.

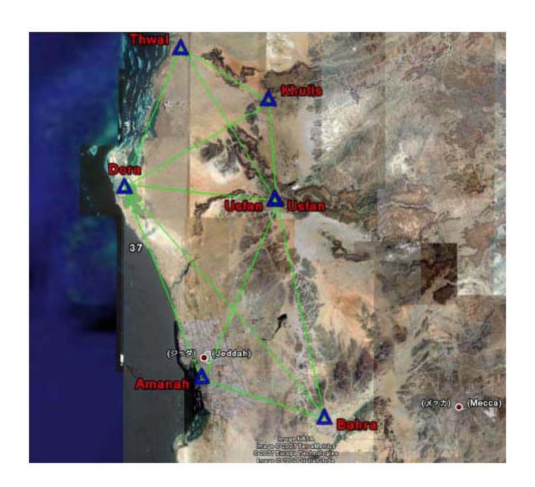
[42] محمد ، وسام ، ٢٠٠٩ ، خدمة ال RTK عبر الجوال في العراق ، منتدى الهندسة المساحية في الرابط: http://surveying.ahlamontada.com/montada-f11/topic-t592.htm



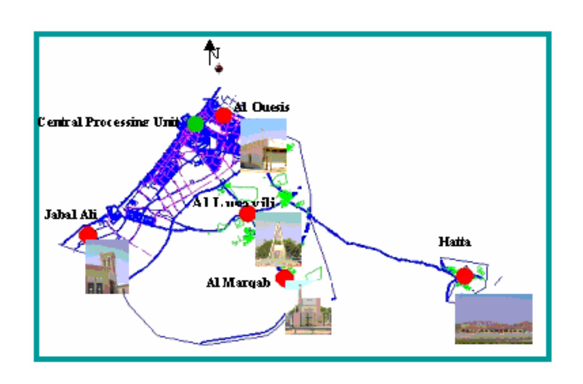
**شكل ٣-٢٨**
**المحطات الأرضية في نظام الازدياد الأمريكي WASS**



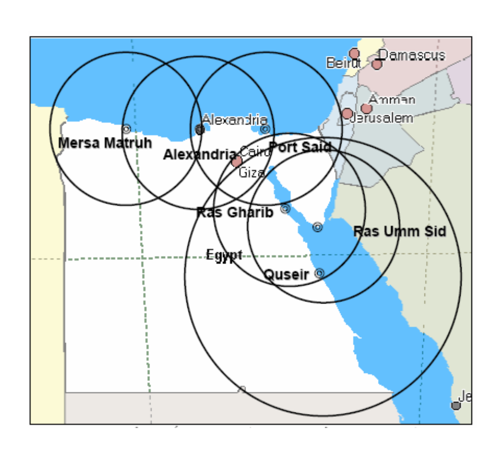
**شكل ٣-٢٩**
**مجال تغطية نظام الازدياد الأوروبي EGNOS**



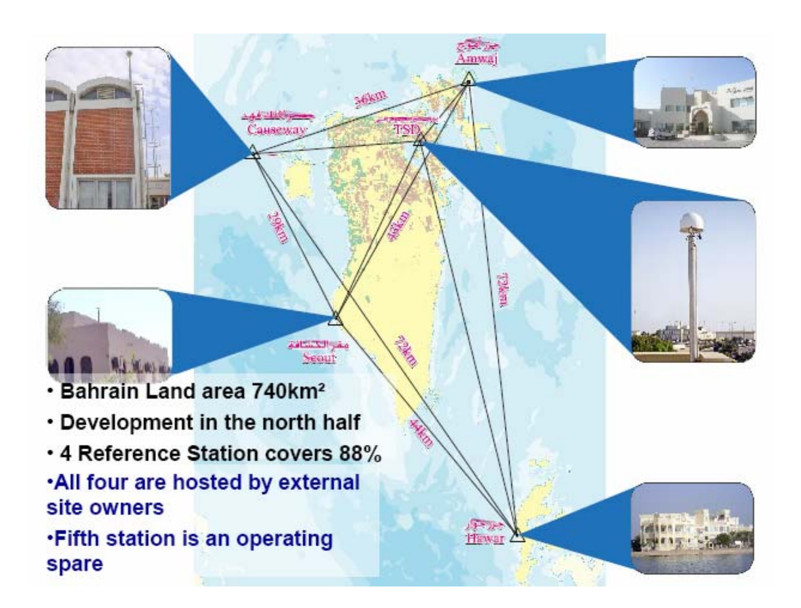

**شكل ٣-٣٠**
**المحطات الأرضية في نظام الازدياد لمدينة جدة السعودية**




**شكل ٣-٣١**
**المحطات الأرضية في نظام الازدياد لمدينة دبي الإماراتية**

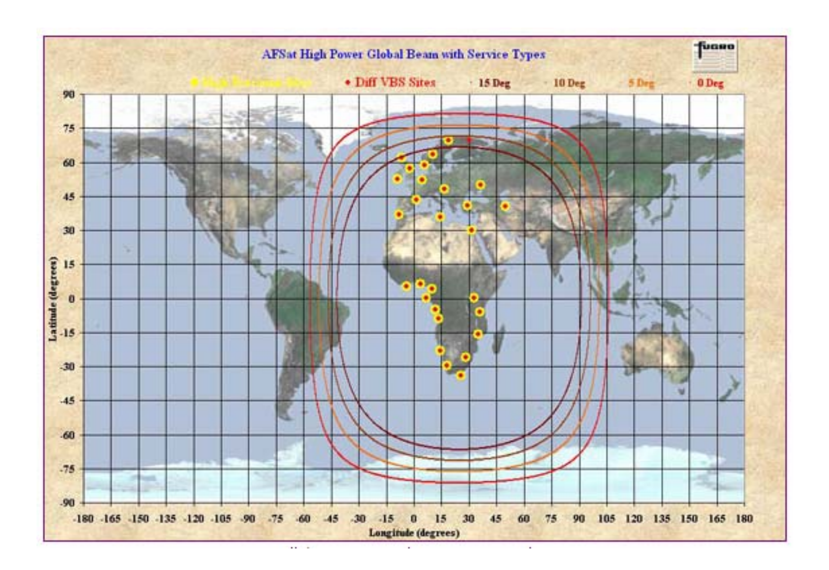



**شكل ٣-٣٢**
**المحطات الأرضية ومجال تغطيتها في نظام الازدياد لهيئة الموانى المصرية**




**شكل ٣-٣٣**
**المحطات الأرضية في نظام الازدياد بمملكة البحرين**

أيضا تجدر الإشارة لوجود نظم ازدياد تجارية (بخلاف النظم السابقة والتي عادة تكون حكومية وتقدم خدماتها مجانا للمستخدمين) ومنهم - علي سبيل المثال – نظام شركة OminStar التي تتيح خدماتها علي المستوي العالمي مقابل اشتراكات مالية ، من خلال ٣ أنواع من الخدمة: خدمة VBS بدقة أقل من متر واحد ، خدمة HP بدقة حوالي ٣٠ سنتيمتر ، خدمة XP بدقة حوالي ١٠ سنتيمتر [٤٣]. ويغطي أحد أقمار OmniStar المنطقة العربية كلها بحيث يتيح خدماته لكل المستخدمين بها (شكل ٣-٣٤).




**شكل ٣-٣٤**

**تغطية نظام الازدياد OmniStar في المنطقة العربية**

[43] OminStar, 2009, website: http://www.omnistar.com/

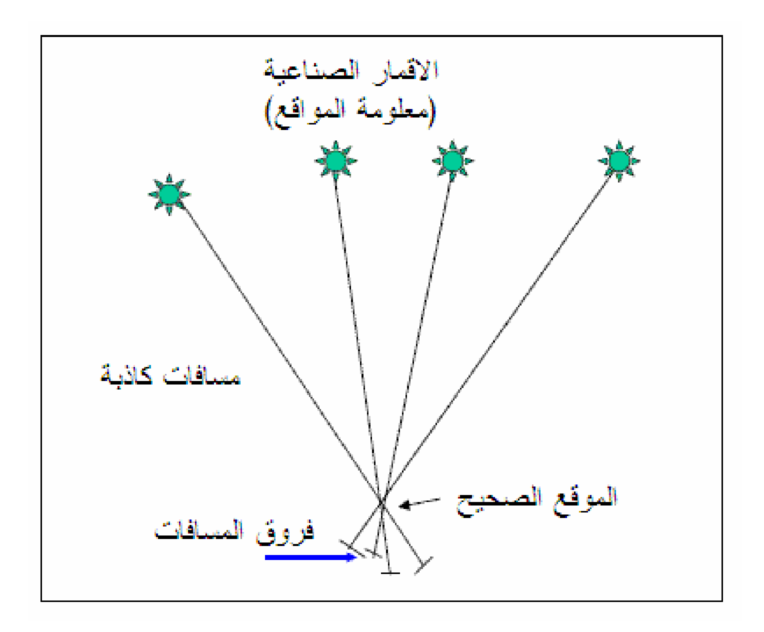
# الفصل الرابع
# أرصاد الجي بي أس

## ٤-١ مقدمة:

إن دراسة الأرصاد (أساليب القياس) التي يوفرها نظام الجي بي أس من الأهمية لمستخدم هذه التقنية حتى يلم بطرقها المختلفة ودقة تحديد الموقع الممكن الوصول إليها في كل نوع من الأرصاد المستخدمة. يوفر نظام الجي بي أس أربعة أنواع من الأرصاد ( أو طرق قياس المسافات بين جهاز الاستقبال و الأقمار الصناعية ) إلا أن نوعين فقط هما الشائعي الاستخدام والمطبقين في أجهزة الاستقبال ، وهما المسافة الكاذبة باستخدام الشفرة (البعض يسميها أشباه المسافات) و فرق طور الإشارة الحاملة. تختلف دقة تحديد المواقع بدرجة كبيرة جدا باختلاف نوع الأرصاد ، فالأجهزة الملاحية تطبق طريقة المسافة الكاذبة ودقتها في حساب الإحداثيات بحدود عدة أمتار بينما تطبق الأجهزة الجيوديسية أسلوب فرق طور الإشارة الحاملة لتصل إلي مستوي عدة سنتيمترات في دقة تحديد المواقع. وسنتعرض لكلا نوعي الأرصاد في الأجزاء التالية.

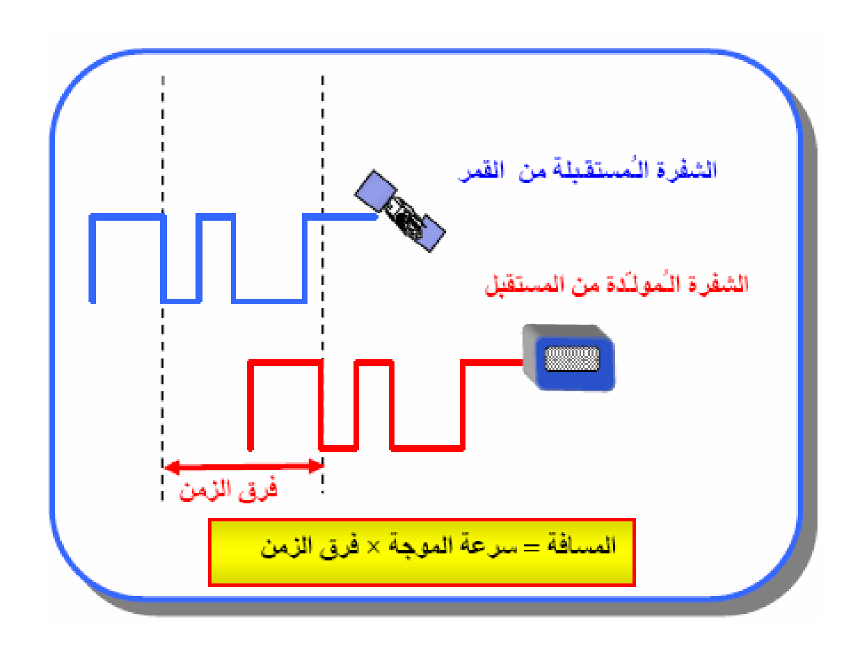
## ٤-٢ أرصاد المسافة الكاذبة باستخدام الشفرة:

يعتمد هذا الأسلوب أو هذا النوع من أرصاد الجي بي أس علي الفكرة البسيطة التي تعرضنا إليها في الفصل الثالث وهي أن المسافة بين جهاز الاستقبال و القمر الصناعي تساوي سرعة الإشارة مضروبة في الزمن المستغرق (معادلة ٣-١). لكن بسبب وجود عدة مصادر للأخطاء فأن هذه المسافة المحسوبة لن تساوي المسافة الحقيقية بين القمر الصناعي و جهاز الاستقبال ، ولذلك تسمي المسافة الكاذبة Pseudorange (شكل ٤-١).




**شكل ٤-١**
**مبدأ المسافات الكاذبة**

لقياس المسافة الكاذبة يقوم جهاز الاستقبال بتطوير شفرة داخله (سواء الشفرة المدنية C/A أو الشفرة العسكرية الدقيقة P طبق لنوع جهاز الاستقبال ذاته) مماثلة للشفرة التي يستقبلها من القمر الصناعي. بمقارنة كلا الشفرتين يمكن حساب فرق الزمن الذي استغرقته الإشارة منذ صدورها من القمر الصناعي وحتى وصولها لجهاز الاستقبال ، ومن ثم يمكن حساب قيمة المسافة الكاذبة (شكل ٤-٢).



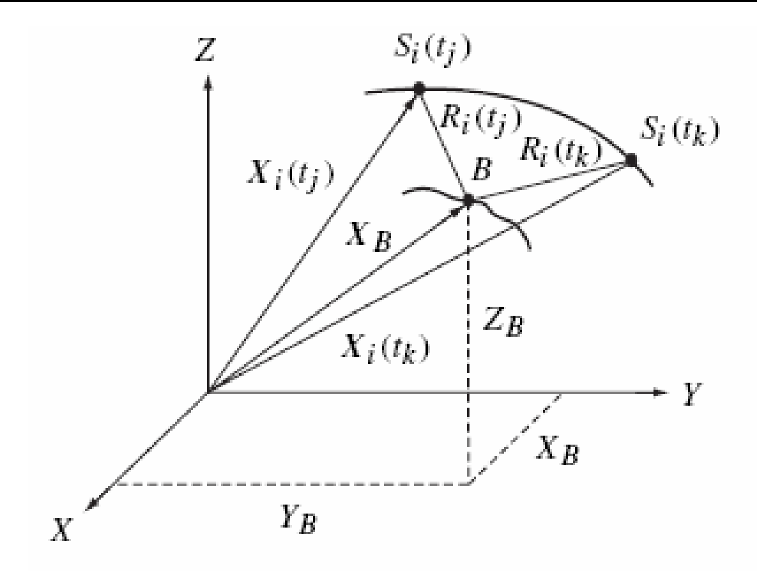

**شكل ٤-٢**
**طريقة قياس المسافة الكاذبة باستخدام الشفرة**

يمكن التعبير عن المسافة الكاذبة بدلالة إحداثيات كلا من القمر الصناعي (الإحداثيات المعلومة) وجهاز الاستقبال (الإحداثيات المطلوب حسابها) بالمعادلة التالية (شكل ٤-٣):

$$PR_i = \left( (X_i - X_B)^2 + (Y_i - Y_B)^2 + (Z_i - Z_B)^2 \right)^{1/2} + c\, dt_u \qquad (4-1)$$

حيث:

$PR_i$ المسافة الكاذبة المقاسه بين القمر الصناعي i وجهاز الاستقبال B.
$(X_i , Y_i , Z_i)$ إحداثيات القمر الصناعي.
$(X_B , Y_B , Z_B)$ إحداثيات جهاز الاستقبال.
c سرعة الضوء.
$dt_u$ خطأ التزامن بين زمن نظام الجي بي أس و ساعة جهاز الاستقبال.




**شكل ٤-٣**
**العلاقات الهندسية في أرصاد المسافات الكاذبة**

طبقا لوجود العديد من مصادر الأخطاء التي تؤثر علي إشارات الأقمار الصناعية (أرجع لجزء ٣-٥ من الفصل الثالث) فأن المعادلة (٤-١) غير دقيقة و يجب أن تصبح:

$$PR_i = ((X_i - X_B)^2 + (Y_i - Y_B)^2 + (Z_i - Z_B)^2)^{1/2} + c\ dt_u + \delta \qquad (4\text{-}2)$$

حيث $\delta$ يضم تأثيرات أخطاء الأيونوسفير و التروبوسفير و باقي الأخطاء الأخرى الطبيعية منها و العشوائية.

برصد ٤ أقمار صناعية (علي الأقل) يمكن تكوين ٤ معادلات من النوع (٤-٢) وحلهم آنيا لحساب قيم إحداثيات جهاز الاستقبال.

من أهم مميزات ها النوع من أرصاد تقنية الجي بي أس أنه لا يتطلب مواصفات تقنية عالية تدخل في تصنيع أجهزة الاستقبال ، فاستخدام الشفرة لا يتطلب أجزاء الكترونية متقدمة وبالتالي فأن سعر جهاز الاستقبال لن يكون غاليا. ومن هنا فأن جميع أجهزة الاستقبال الملاحية Navigation أو المحمولة يدويا Hand-Held تطبق أسلوب المسافة الكاذبة باستخدام الشفرة في تحديد المواقع.

علي الجاني الآخر فأن أهم عيوب هذا النوع من أرصاد الجي بي أس يتمثل في أن الدقة المتوقعة لتحديد المواقع بهذا الأسلوب لن تكون عالية الدقة. يمكن تقدير دقة أرصاد المسافة الكاذبة بقيم تتراوح بين ±٦ متر (عند انحراف معياري $1\sigma$ أي بنسبة احتمال تبلغ ٦٨.٣%) و ±١٩ متر (عند انحراف معياري $3\sigma$ أي بنسبة احتمال تبلغ ٩٩.٧%) للإحداثيات الأفقية ،

بينما ستكون الدقة أكبر من هذه الحدود في الاحداثي الرأسي (من ±١١ إلي ±٤٢ متر) [1].
وبالطبع فقد تكون هذا الدقة في تحديد المواقع مناسبة للأعمال الاستكشافية و الجغرافية والخرائط ذات مقياس الرسم الصغير و بعض تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية ، إلا أنها دقة غير مناسبة للأعمال المساحية و الجيوديسية.

تجدر الإشارة إلي أن هذا النوع من أرصاد الجي بي أس يسمي أيضا التحديد المطلق للنقطة Absolute Point Positioning حيث أنه يعتمد علي استخدام جهاز استقبال واحد فقط لتحديد موقع أو إحداثيات النقطة المرصودة في نفس لحظة رصدها.

### ٤-٣ أرصاد فرق طور الإشارة الحاملة:

يقوم جهاز الاستقبال (الجيوديسي النوع) بتطوير موجة داخلية ثابتة تشبه الموجة التي يبثها القمر الصناعي ، ثم يقوم بمقارنة طور phase كلا الموجتين عن طريق قياس فرق الطور carrier phase or carrier beat phase والذي يكون دالة في المسافة بين القمر الصناعي و جهاز الاستقبال في لحظة الرصد. لكن هذا الفرق في الطور يتكون من جزأين: (١) العدد الصحيح integer للموجات الكاملة ، (٢) أجزاء الموجات عند كلا من جهاز الاستقبال و القمر الصناعي. وهنا تأتي أهم المشاكل التي تواجه نوع هذه الأرصاد: جهاز الاستقبال يستطيع وبكل دقة قياس أجزاء الموجات لكنه لا يستطيع تحديد عدد الموجات الكاملة. ومن ثم فأن العدد الصحيح للموجات الكاملة ويسمي الغموض الصحيح Integer Ambiguity أو اختصارا الغموض Ambiguity (N') يتم اعتباره قيمة مجهولة مطلوب حسابها أثناء إجراء حسابات تحديد المواقع (شكل ٤-٤ وشكل ٤-٥).

فرق الطور $\Phi_B$ عند جهاز الاستقبال B هو الفرق بين طور الإشارة الملتقطة من القمر الصناعي $\Phi_{CR}$ وطور الإشارة الثابتة المولدة في جهاز الاستقبال $\Phi_o$:

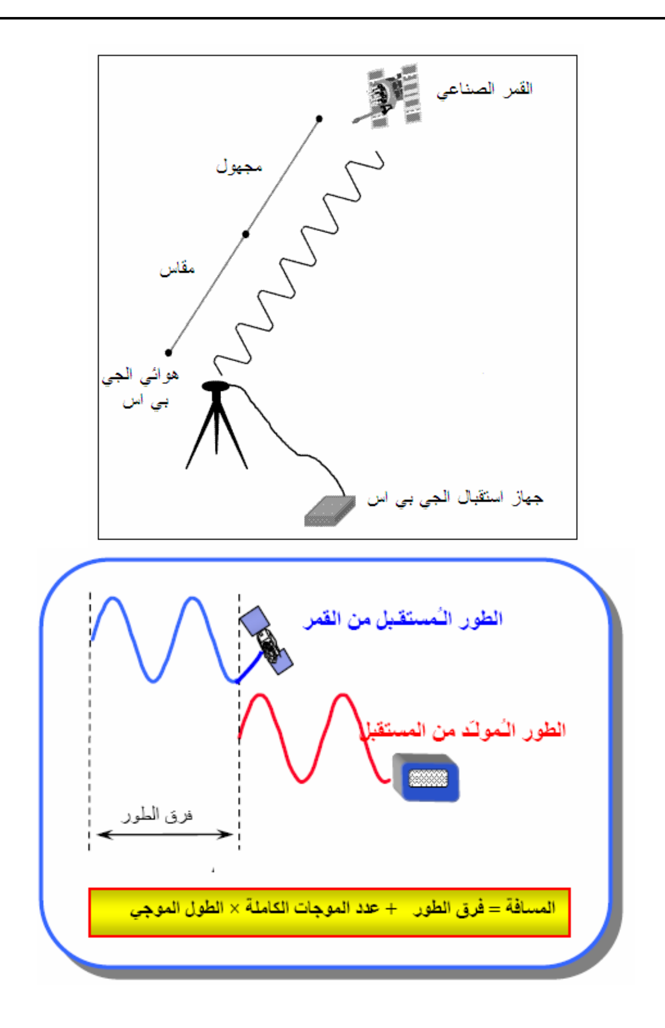
$$\Phi_B = \Phi_{CR} - \Phi_o \qquad (4\text{-}3)$$

والذي يمكن كتابته بصورة أخري كالآتي:

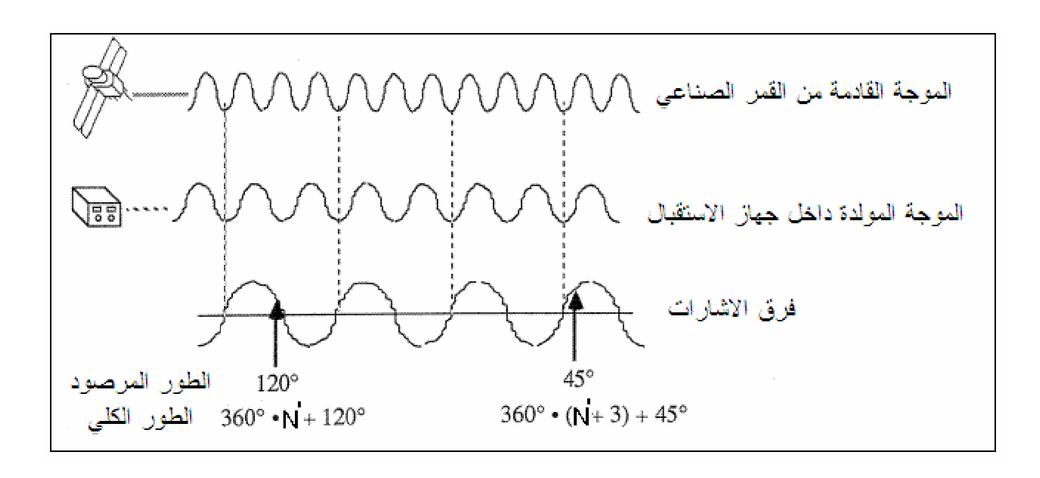
$$\Phi_{CR} = ( 2\pi / \lambda' ) ( | X_i - X_B | - N'_{Bi} \lambda + c\, dt_U ) \qquad (4\text{-}4)$$

حيث:
$X_i$ متجه vector موقع القمر الصناعي
$X_B$ متجه vector موقع جهاز الاستقبال
$\lambda'$ طول الموجة الحاملة (١٩ سم للموجة الأولي L1 ، ٢٤ سم للموجة الثانية L2).
c سرعة الضوء.
$dt_u$ خطأ التزامن بين زمن نظام الجي بي أس و ساعة جهاز الاستقبال.
N' هو الغموض أو عدد الموجات الصحيحة.

[1] US Army Corps of Engineering, 2003, NAVSTAR Global Positioning System Surveying, Technical Manual No. EM1110-1-1003, Washington, D.C., USA.




**شكل ٤-٤**
**أرصاد فرق طور الموجة الحاملة**




**شكل ٤-٥**
**كيفية قياس فرق طور الموجة الحاملة**

أيضا وبسبب وجود العديد من مصادر الأخطاء التي تؤثر علي إشارات الأقمار الصناعية فأن المعادلة (٤-٤) غير دقيقة تماما و يجب أن تصبح:

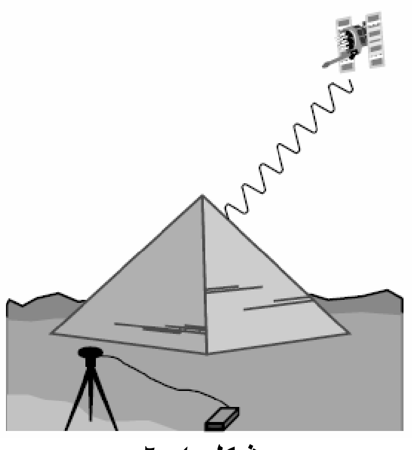
$$\Phi_{CR} = ( 2\pi / \lambda ) ( | X_i - X_B | - N'_{Bi} \lambda' + c \, dt_U ) + \delta \qquad (4\text{-}5)$$

حيث $\delta$ يضم تأثيرات أخطاء الأيونوسفير و التروبوسفير و باقي الأخطاء الأخرى الطبيعية منها و العشوائية.

من عيوب ها النوع من أرصاد تقنية الجي بي أس أنه يتطلب مواصفات تقنية عالية تدخل في تصنيع أجهزة الاستقبال ، فتوليد موجة داخل أجهزة الاستقبال يتطلب أجزاء الكترونية متقدمة وبالتالي فأن سعر جهاز الاستقبال سيكون غاليا مقارنة بأجهزة قياس المسافات الكاذبة. ومن هنا فأن أجهزة الاستقبال الملاحية Navigation أو المحمولة يدويا Hand-Held لا تطبق هذا الأسلوب ، إنما هو فقط مطبق في تحديد المواقع باستخدام الأجهزة الجيوديسية.

علي الجاني الآخر فأن أهم مميزات أرصاد الجي بي أس باستخدام فرق طور الإشارة الحاملة يتمثل في أن الدقة المتوقعة لتحديد المواقع بهذا الأسلوب تكون عالية. فالقاعدة العامة أن أقل مسافة يمكن قياسها بهذا النوع من الأرصاد = (٣٦٠/٢) من طول الموجة ، فمثلا طول موجة التردد الأول L1 = ١٩ سنتيمتر ، مما يسمح لنا بقياس مسافات تصل إلي ١ ملليمتر. وبالطبع فأن هذا المستوي العالي من الدقة في تحديد المواقع مناسبة للأعمال المساحية و الجيوديسية.

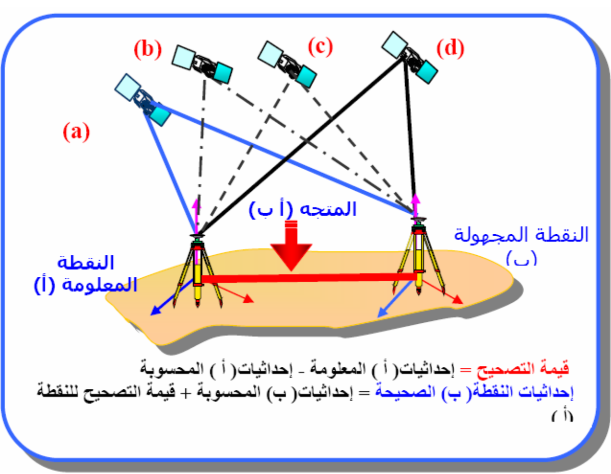
أيضا من المشكلات التي تواجه عملية تحديد المواقع باستخدام فرق طور الموجة الحاملة: تحديد قيمة الغموض المجهول N' وأيضا تأثير مصادر الأخطاء الأخرى $\delta$ في المعادلة (٤-٥). كما أن الغموض سيظل ثابت القيمة طالما أستمر جهاز الجي بي أس في استقبال الموجة القادمة من هذا القمر الصناعي ، بينما إذا أنقطع هذا الاستقبال (بسبب أي عوائق منعته من الوصول لجهاز الاستقبال) فأن قيمة الغموض N' ستتغير وتصبح مجهول جديد عند عودة الاستقبال مرة أخري. وهذه الحالة هي ما يطلق عليها "خطأ تغير الدورة Cycle Slip" (شكل ٤-٦ [٢]).



**شكل ٤-٦**
**خطأ تغير الدورة**

[2] Al-Rabbany, A., 2002, Introduction to GPS: The Global Positioning System, Artech House, Inc., Boston, USA.

لذلك لجأ علماء الجيوديسيا إلي فكرة الفروقات Differencing التي تتيح حذف تأثير بعض مصادر الأخطاء عند رصد إشارات الجي بي أس باستخدام جهازي استقبال في نقطتين مختلفتين و يعملان معا في نفس الوقت. وفي هذه الحالة يمكن حساب فرق الإحداثيات ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$) بين النقطتين الأرضيتين بدقة عالية بدلا من حساب إحداثيات نقطة واحدة كما في أسلوب التحديد المطلق للإحداثيات. ومن ثم فيطلق - عامة - علي هذا النوع من أرصاد الجي بي أس أسم التحديد النسبي للمواقع Relative Positioning (شكل ٤-٧ [٣]).




**شكل ٤-٧**

**التحديد النسبي للمواقع**

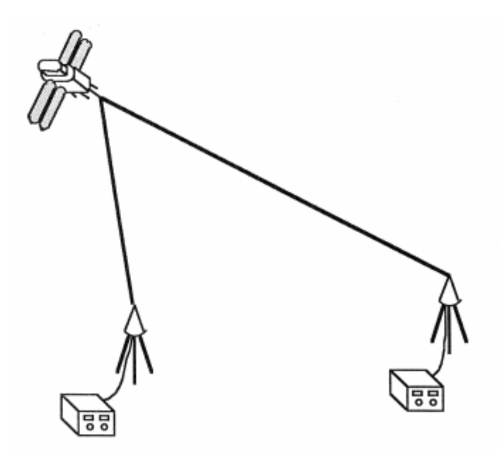
### ٤-٤ مبدأ الفروقات في مرحلة الحسابات:

يمكن تقسيم مصادر الأخطاء التي تؤثر علي أرصاد الجي بي أس (وبالتالي دقة تحديد المواقع) إلي ثلاثة مجموعات: أخطاء الأقمار الصناعية ، أخطاء أجهزة الاستقبال ، أخطاء تأثير الغلاف الجوي والأخطاء العشوائية. فإذا أخذنا أخطاء الأقمار الصناعية كمثال: إذا كان لدينا جهازي استقبال يرصدان نفس القمر الصناعي في نفس اللحظة وكانت المسافة بين موقعي الجهازين صغيرة فيمكن أن نتوقع أن تأثير خطأ القمر الصناعي و أيضا تأثير طبقة الغلاف الجوي سيكون متساوي القيمة – تقريبا – علي المسافتين من هذا القمر الصناعي إلي هذين الجهازين الأرضيين. وبالتالي فإذا طرحنا الأرصاد (المعادلتين) عند كلا الجهازين فأننا سنقلل بنسبة كبيرة جدا من تأثير هذين الخطأين علي الحل الناتج ، لكن من المهم جدا أن ندرك أن هذا الحل لن يكون إحداثيات نقطتي الرصد- $X_1,Y_1,Z_1$ للنقطة الأولي ولا $X_2, Y_2, Z_2$ للنقطة الثانية - لكن الفرق بينهما ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$) ، ومن هنا جاءت تسمية التحديد "النسبي" للمواقع. هذا المبدأ أو الحل يطلق عليه اسم الفرق (أو التفاضل في بعض الترجمات [٤]) الأحادي بين المستقبلات Between-Receiver Single Difference (شكل ٤-٨ [٥]).

[3] المؤسسة العامة للتعليم الفني و التدريب المهني ، ١٤٢٦ هـ ، النظام الكوني لتحديد المواقع ، مقرر دراسي لطلاب المعاهد الثانوية الفنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.

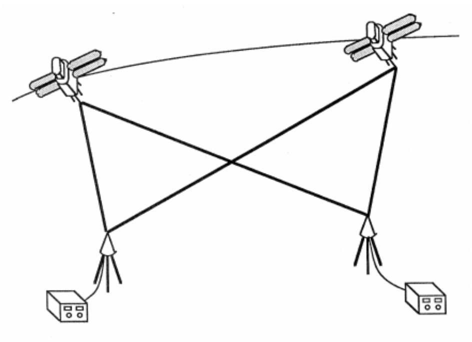
[4] سمونة ، محمد علي ، ٢٠٠٥ ، نظام تحديد المواقع العالمي ، مقرر الجيوديسيا الفضائية لطلاب الدبلوم بجامعة الملك سعود بالرياض ، المملكة العربية السعودية ، صفحة: http://faculty.ksu.edu.sa/hbilani/SE412ppt%20presentations/diplome_6.ppt#257,1

[5] Wells, D., Beck, N., Delikaraoglou, D., Kleusberg, A., Krakiwsky, E., Lacgapelle, G., Langley, R., Nakiboglu, M., Schwarz, K.,



**شكل ٤-٨**
**الفرق الأحادي بين المستقبلات**

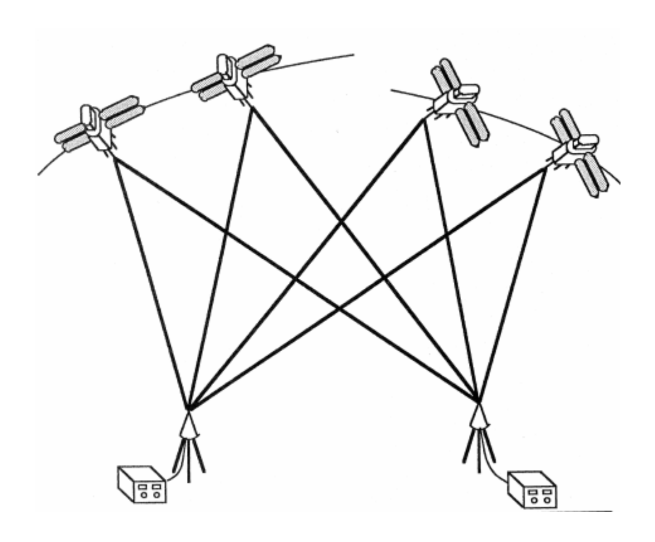
بنفس المبدأ يمكن تطوير نوع آخر من الفروقات (أثناء عملية حسابات أرصاد الجي بي أس Data Processing) إذا كان لدينا جهازي استقبال يرصدان قمرين صناعيين في نفس اللحظة. بعد تكوين معادلة الفرق الأحادي بين المستقبلات لكلا نقطتي الرصد مع القمر الصناعي الأول ، نقوم بتكوين معادلة الفرق الأحادي بين المستقبلات لكلا نقطتي الرصد مع القمر الصناعي الثاني. وبعد ذلك نطرح كلا الفرقين الأحاديين من بعضهما فتنتج لنا معادلة ما يسمي بالفرق الثنائي Double Difference (شكل ٤-٩). يتميز الفرق الثنائي أنه يزيل (أو يقلل بنسبة كبيرة) من أخطاء الأقمار الصناعية و تأثير الغلاف الجوي (مثل الفرق الأحادي) بالإضافة إلي أخطاء ساعات أو زمن أجهزة المستقلات أيضا.



**شكل ٤-٩**
**الفرق الثنائي**

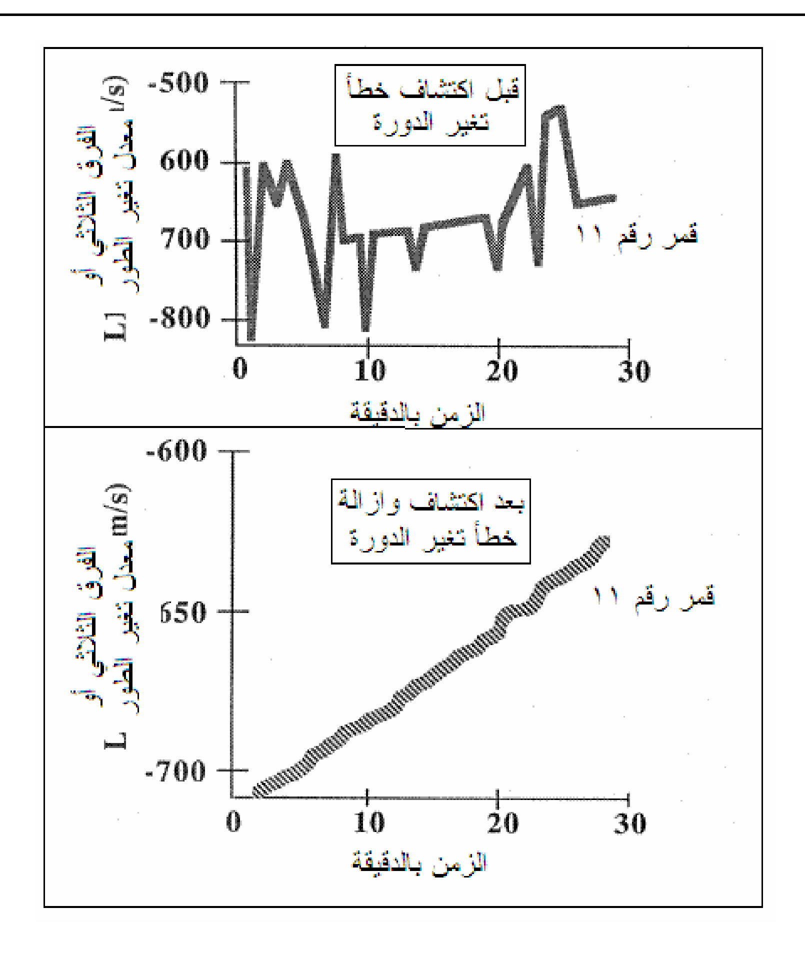
يأتي الفرق الثلاثي Triple Difference كأحد أساليب الفروقات الهامة في حسابات أرصاد الجي بي أس (شكل ٤-١٠) ، والذي يقوم علي مبدأ طرح معادلتين فرق ثنائي من بعضهم البعض ، أي حالة جهازين استقبال يرصدان نفس القمرين الصناعيين في لحظتي رصد متتاليتين (وليس لحظة رصد واحدة مثل حالة الفرق الثنائي).

Tranquilla, J., and Vanicek, P., 1986, Guide to GPS positioning, Department of geodesy and geomatics engineering lecture note 58, University of New Brunswick, Canada, 291 pp.



**شكل ٤-١٠**
**الفرق الثلاثي**

تتبع أهمية (حل أو معادلة) الفرق الثلاثي من نقطة هامة جدا: كما سبق الإشارة إلي أن قيمة خطأ الغموض Ambiguity تعتبر هامة جدا في أرصاد طور الموجة الحاملة للوصول لدقة عالية في تحديد المواقع. هذه القيمة (التي يمكن حسابها من معادلات الفرق الثنائي) تظل قيمة ثابتة طالما هناك استمرارية في وصول موجات القمر الصناعي إلي جهاز الاستقبال. فإذا انقطعت هذه الاستمرارية (بسبب وجود أي عائق قريب من جهاز الاستقبال) فأن قيمة خطأ الغموض ستتغير وهي الحالة المعروفة باسم خطأ تغير الدورة Cycle Slip. في معادلة الفرق الثلاثي سيختفي مجهول الغموض (أي لا يمكن تحديده من هذا الفرق) ، فإذا حدث خطأ تغير الدورة فسيظهر في معادلة واحدة فقط – لهذه اللحظة – ولن يظهر في معادلة اللحظة التالية بعد عودة استمرارية الاستقبال مرة أخري. ومن هنا فأن لحظة حدوث الخطأ ستظهر كقفزة مفاجئة في أرصاد الفروقات الثلاثية ، مما يسهل لنا تحديد هذه اللحظة التي حدث بها انقطاع الاستقبال – من القمر الصناعي – وبالتالي إمكانية حساب قيمة خطأ الغموض الجديدة بعد عودة الاستقبال مرة أخري (شكل ٤-١١).




**شكل ٤-١١**
**خطأ تغير الدورة في الفرق الثلاثي**

### ٤-٥ الحسابات المبدئية لأرصاد الجي بي أس:

يعتقد العديد من مستخدمي نظام الجي بي أس - في البلاد العربية - أن برامج الحسابات Data Processing Software التي تأتي مع الأجهزة تكون تامة و مناسبة لكل مراحل الحسابات دون أي حاجة للمستخدم أن يعرف كيف تمت هذه الحسابات. ومن هنا فيلجأ بعضهم إلي ما يسمي الحساب الآلي Auto-Processing – وهو وظيفة في هذه البرامج لتنفيذ الحسابات آليا – دون الاطلاع علي المعاملات التي قام البرنامج بتطبيقها عند تنفيذ هذه الحسابات Configuration Parameters. إن برامج الحسابات تم إنتاجها من قبل شركات متخصصة ، لكن داخل البرنامج توجد العديد من الاختيارات و المعاملات التي يجب أن يلم بها المستخدم ليقرر هو الاختيارات المناسبة في كل حالة وكل مشروع. وسنتعرض هنا لبعض أمثلة يجب أخذها في الاعتبار.

حتى الآن فأن الفروقات (سواء الأحادية أو الثنائية أو الثلاثية) يمكن تكوينها إما باستخدام أرصاد الشفرة أو باستخدام أرصاد طور الموجة ، علي التردد الأول L1 من ترددي الأقمار الصناعية (أجهزة الاستقبال أحادية التردد Single-Frequency GPS Receivers). أما في حالة قدرة جهاز الرصد علي استقبال كلا الترددين (الأجهزة ثنائية التردد Dual-Frequency GPS Receivers والتي تكون أغلي سعرا من الأجهزة أحادية التردد)

فيوجد نوع آخر من الفروقات – أو طرق الحل - يمكن تطويره. فإذا كان لدينا فرق ثنائي – مثلا – لأرصاد التردد الأول و فرق ثنائي لأرصاد التردد الثاني فمن المنطقي أن نفترض أن تأثير خطا الأيونوسفير سيكون تقريبا واحد علي كلا المعادلتين أو الرصدتين. فإذا طرحنا كلتا المعادلتين (لكلا الترددين) فسينتج لنا معادلة جديدة لن يكون فيها تأثير هذا الخطأ ، وهو الفرق المسمي "الخالي من الأيونوسفير Iono-Free Solution. وبالطبع فأن هذا الحل سيكون أدق من أي نوع آخر من الحلول أو الفروقات بسبب أن تأثير الأيونوسفير يعد أكبر و أهم مصادر الأخطاء علي أرصاد الجي بي أس.

أيضا عند توفر أرصاد كلا الترددين (L1, L2) فيمكن دمج كلا الترددين لتطوير نوع افتراضي من الأرصاد يسمي Wide-Lane أو الحارة الواسعة ، ومن مميزاته أن طول الموجة له سيكون ٨٦ سنتيمتر (وليس ١٩ أو ٢٤ سنتيمتر للترددين الأصليين أو الحقيقيين) مما يسمح بسهولة تحديد قيمة الغموض Ambiguity.

عند تحديد قيمة الغموض يقوم برنامج الحساب بعدد من تكرارات الحلول Iterations للوصول إلي العدد الصحيح من الدورات الكاملة الذي يعبر عن قيمة هذا الخطأ. بالطبع فأن الحل الرياضي لا يصل إلي عدد صحيح Integer لكن إذا كانت جودة الحل عالية فأن أقرب عدد صحيح سيكون هو القيمة المناسبة للغموض. مثلا: إذا كان أحسن الحلول لعدد الدورات الكاملة = ٨٥٦.٦ دورة فأن أحسن قيمة للغموض (والتي يجب أن تكون عددا صحيحا) ستكون ٨٥٧ دورة. السؤال الآن هو كيف سيحدد البرنامج "أحسن" حل من هذه الحلول أو التكرارت؟ يتم ذلك عن طريق معاملات إحصائية تقيم جودة كل حل أو تكرار iteration حتى يمكن تحديد أي الحلول هو الأحسن. فإذا أجتاز حل هذه الاختبارات الإحصائية فنطلق عليه مصطلح الحب الثابت Fixed Solution ، أما إن لم يجتاز أي حل من الحلول هذه الاختبارات الإحصائية فأن أفضل الحلول يطلق عليه مصطلح الحل غير الثابت Float Solution. وبالطبع فأن الحل الثابت يكون هو الأدق (لأنه توصل إلي قيمة دقيقة للغموض) ويجب استخدامه في مراحل الحسابات التالية.

في حالة التوصل إلي حل ثابت وأيضا – في نفس الوقت - يكون خالي من تأثير الأيونوسفير Iono-Free Fixed Solution فيعد هو أدق الحلول أو أدق قيمة لفرق إحداثيات النقطتين في التحديد النسبي للمواقع Relative Positioning. وحيث أن أرصاد الجي بي أس – عامة – تشتمل علي أرصاد أكبر من العدد الضروري ، أي أرصاد زائدة Redundant Observations بهدف استخدامها في التأكد و التحقيق ، فمن المهم اختيار أي الأرصاد ستدخل في المرحلة النهائية لحسابات إحداثيات النقط المرصودة. كمثال: إذا تم رصد خط بين نقطتين في يومين مختلفين ، وكان حل أرصاد اليوم الأول من النوع غير الثابت Float بينما نتج حل ثابت Fixed من أرصاد اليوم الثاني ، فمن المنطقي أن نفضل الحل الثابت عن الحل الآخر و نعتمد عليه في حساب الإحداثيات لاحقا. من هنا تأتي أهمية أن يلم مستخدم الجي بي أس (وخاصة للتطبيقات المساحية و الجيوديسية) بأنواع الحلول و خصائص كل نوع وأيضا معاملات الحساب في البرنامج Software حتى يكون للمستخدم القرار النهائي السليم في كيفية تنفيذ الحسابات أملا في الوصول إلي أحسن وأدق قيم إحداثيات للنقاط المرصودة بنظام الجي بي أس.

# الفصل الخامس
# طرق الرصد

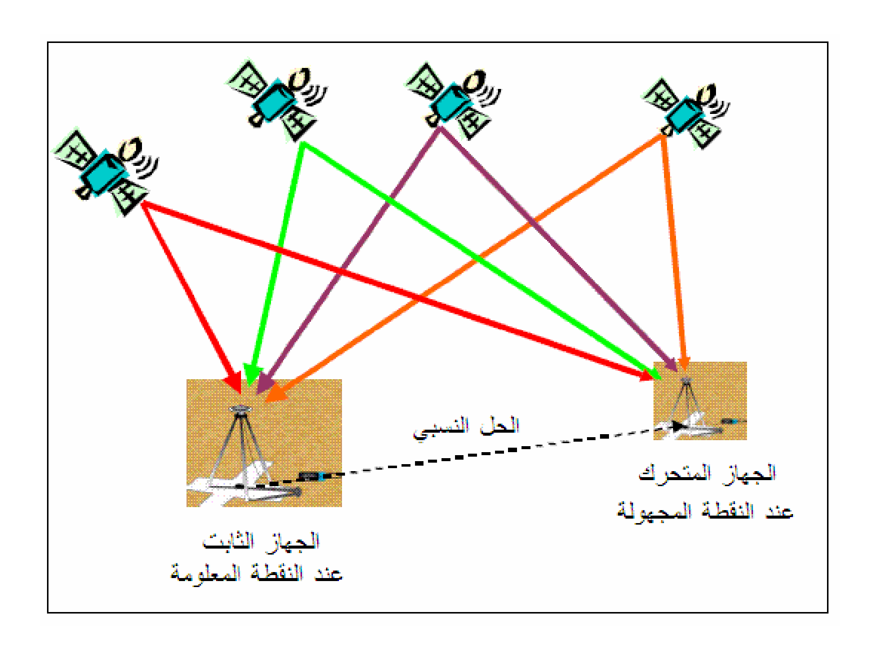
## ٥-١ مقدمة:

لتحديد إحداثيات موقع أو نقطة معينة يكفي استخدام جهاز استقبال واحد يقوم باستقبال الموجات المرسلة من الأقمار الصناعية ، وهذا ما يطلق عليه التحديد المطلق للمواقع Absolute Point Positioning. لكن دقة هذه الإحداثيات ستكون في حدود عدة أمتار مما يجعل هذا الأسلوب مناسبا للتطبيقات الملاحية وبعض تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية أو للخرائط ذات مقياس الرسم الصغير ، لكنه بالطبع لن يكون مناسبا للتطبيقات المساحية و الجيوديسية التي تتطلب دقة عالية في تحديد المواقع.

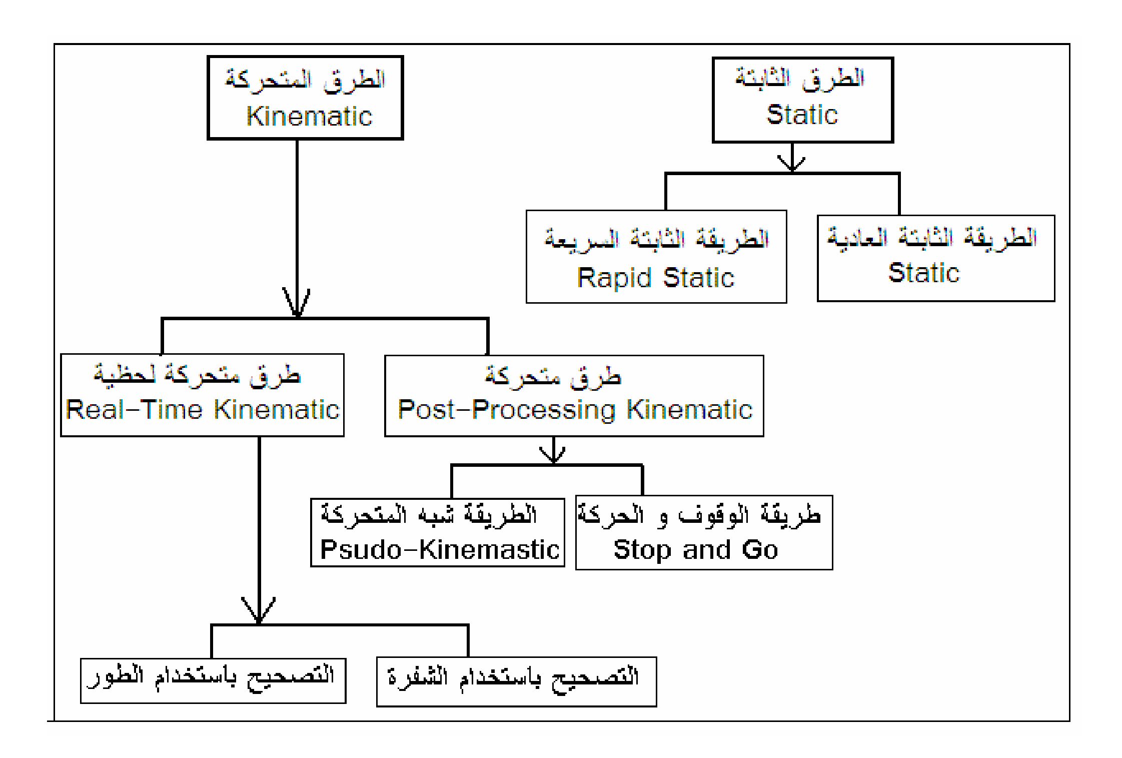
تتعدد طرق الرصد المساحية بنظام الجي بي أس بطريقة كبيرة بناءا علي عدة عوامل مثل عدد أجهزة الاستقبال المتوفرة و الدقة المطلوبة أو طبيعة المشروع. يجب علي مستخدم الجي بي أس أن يلم بمميزات و عيوب كل طريقة قبل أن يقرر الطريقة التي يتبعها في مشروع معين.

تعتمد الطرق المساحية لتجميع أرصاد الجي بي أس علي أسلوب الرصد النسبي أو الرصد التفاضلي Relative or Differential حيث يكون هناك جهازي استقبال (شكل ٥-١) أحدهما يسمي القاعدة Base Receiver أو الجهاز المرجعي Reference Receiver موجودا علي نقطة مساحية معلومة الإحداثيات ، بينما الجهاز الثاني يسمي المتحرك Rover Receiver وهو الذي يتولي رصد النقاط المطلوب تحديد موقعها ، ويقوم كلا الجهازين برصد الأقمار الصناعية آنيا simultaneously في نفسي الوقت. يقوم الجهاز الثابت أو القاعدة بتحديد قيمة الخطأ في إشارات الأقمار الصناعية في كل لحظة وذلك عن طريق مقارنة الإحداثيات المعلومة لهذه النقطة مع إحداثياتها المحسوبة من أرصاد الجي بي أس. بافتراض أن المسافة بين جهاز القاعدة و الجهاز المتحرك ليست كبيرة فيمكن اعتماد مبدأ أن تأثير أخطاء الرصد عند النقطة المتحركة تساوي تقريبا نفس التأثير عند النقطة القاعدة ، ومن ثم يمكن أيضا تصحيح إحداثيات النقاط التي يرصدها الجهاز الآخر أو الجهاز المتحرك ، عن طريق نقل هذه التصحيحات من الجهاز الثابت إلي الجهاز المتحرك. قد تتم عملية نقل التصحيحات في المكتب بعد انتهاء تجميع البيانات الحقلية (نسميها المعالجة اللاحقة Post-Processing) أو تتم لحظيا في الموقع (نسميها التصحيح اللحظي Real-Time). وتجدر الإشارة إلي أن الحل الناتج من هذه الطرق يكون حلا نسبيا - أي فرق الإحداثيات - بين النقطة المعلومة و النقطة المجهولة ($\Delta X$, $\Delta Y$, $\Delta Z$) والذي سيضاف إلي إحداثيات النقطة المعلومة ليمكننا حساب إحداثيات النقطة المجهولة.

بصفة عامة يمكن تقسيم طرق الرصد إلي مجموعتين رئيسيتين (شكل ٥-٢): الطرق الثابتة Static – ومنها الطريقة التقليدية و الطريقة السريعة – والطرق المتحركة Kinematic ومنها طرق تعتمد علي الحساب اللاحق و أخري تعتمد علي استقبال تصحيحات بهدف إكمال عملية حساب الإحداثيات في الموقع مباشرة. وتجدر الإشارة إلي أن الطريقة الثابتة التقليدية هي الأنسب لمشروعات المساحة الجيوديسية التي تتطلب دقة عالية (مثل إنشاء شبكات الثوابت الأرضية) بينما باقي الطرق تكون مناسبة للأعمال المساحية والرفع المساحي. وسنستعرض مواصفات و مميزات طرق الرصد في هذا الفصل.




**شكل ٥-١**
**مبدأ الرصد النسبي لأرصاد الجي بي أس**




**شكل ٥-٢**
**طرق رصد الجي بي أس**

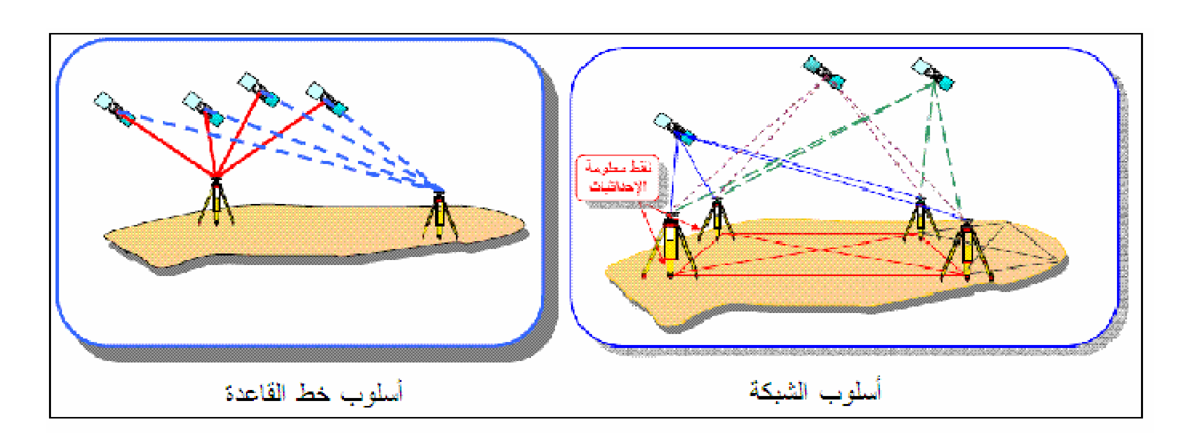
## ٥-٢ طرق الرصد الثابتة Static:

تعد طرق الرصد الثابتة أنسب طرق رصد الجي بي أس للتطبيقات المساحية و الجيوديسية التي تتطلب دقة عالية (تصل إلي مستوي الملليمتر) في تحديد المواقع. الطريقة الثابتة التقليدية هي أقدم – و أدق أيضا - طرق رصد الجي بي أس بينما ظهرت بعدها طريقة أخري (أو تعديل لها) سميت بالرصد الثابت السريع.

### ٥-٢-١ طريقة الرصد الثابت التقليدي Static:

في هذه الطريقة يحتل الجهاز الثابت نقطة معلومة الإحداثيات بينما يقوم الجهاز الآخر (أو عدد من الأجهزة) باحتلال النقطة (أو النقاط) المجهولة المطلوب تحديد مواقعها ، وفي نفس الوقت تبدأ كل الأجهزة في استقبال إشارات الأقمار الصناعية. الأجهزة الجيوديسية ثنائية التردد Dual-Frequency Geodetic Receivers هي الأجهزة المستخدمة في هذه الطريقة حتى يمكن الوصول لمستوي الدقة المطلوبة ، وان كان يمكن استخدام الأجهزة أحادية التردد Single-Frequency Receivers للمسافات الصغيرة التي لا تتجاوز ٢٠ كيلومتر. تتراوح فترة الرصد المشترك session التي تعمل خلالها أجهزة الاستقبال بين ٣٠ دقيقة و عدة ساعات طبقا لطول المسافات بين الجهاز الثابت و الأجهزة الأخرى (ما يطلق عليه خط القاعدة أو خطوط القواعد Base Line). تقوم أجهزة الاستقبال بتجميع الأرصاد بمعدل (Sample Rate) رصده كل ١٥-٢٠ ثانية.

توجد عدة أساليب لتجميع البيانات تعتمد علي عدد أجهزة الاستقبال المتوفرة [1]. أذا لم يتوفر إلا جهازين استقبال فقط فيتم العمل بأسلوب خط القاعدة Base Line حيث يوضع الجهاز الثابت أعلي النقطة المعلومة و الجهاز الآخر أعلي أولي النقاط المجهولة لفترة زمنية معينة ، ثم ينتقل لرصد النقطة المجهولة الثانية ثم الثالثة و هكذا. بينما في حالة توافر أكثر من جهازين فأن أسلوب العمل يتم بطريقة الشبكة Network حيث جهاز (أو أثنين أحيانا) فوق النقطة (أو النقطتين) المعلومتين بينما توضع باقي الأجهزة علي النقاط المجهولة (شكل ٥-٣).




**شكل ٥-٣**
**أساليب الرصد الثابت التقليدي**

[1] Nassar, M., 1994, Advanced geometric geodesy, Lecture notes, Faculty of Engineering, Ain Shams University, Cairo, Egypt.

بعد انتهاء تجميع الأرصاد الحقلية يتم نقل البيانات (من جميع الأجهزة) إلي الحاسب الآلي حيث تتولي برامج متخصصة GPS Data Processing Software تنفيذ عمليات الحساب و الضبط للوصول إلي قيم دقيقة لإحداثيات النقاط المجهولة. إذا كانت أطوال خطوط القواعد صغيرة نسبيا (١٥-٢٠ كيلومتر) فيمكن تحديد قيمة الغموض بدقة والوصول إلي نوع الحل الثابت Fixed Solution ، بينما لخطوط القواعد الطويلة فمن المتوقع ألا يتم الوصول لقيمة صحيحة integer لخطأ الغموض ، ومن ثم فيكون الحل الخالي من الأيونوسفير هو الأفضل (أنظر ٤-٥). أما للخطوط الطويلة جدا (مئات الكيلومترات) فيفضل استخدام برامج الحساب العلمية – مثل برنامج BERNSE من جامعة برن السويسرية – لأنها برامج أفضل من تلك البرامج التجارية العادية لهذه الحالات.

الدقة المتوقعة لطريقة الرصد الثابت التقليدية تكون ٥ ملليمتر ± ١ جزء من المليون (ppm) أي ٥ ملليمتر + ملليمتر لكل واحد كيلومتر من طول خط القاعدة. كمثال: لخط قاعدة طوله ٢٠ كيلومتر ، فأن الدقة المتوقعة = ٥ + ٢٠ = ± ٢٥ ملليمتر. تجدر الإشارة إلي أنه بمكن الوصول لدقة أحسن من هذا المستوي العام باستخدام أجهزة جيوديسية حديثة وأيضا باستخدام مدارات أكثر دقة للأقمار الصناعية (أنظر الجزء ٩-٢).

توجد عدة مواصفات دولية منشورة تحدد التفاصيل التقنية للرصد و الحساب لطرق رصد الجي بي أس ، والتي يمكن الحصول عليها من عدد من المواقع علي شبكة الانترنت (الروابط موجودة في ملحق المكتبة الرقمية المساحية). أما في الدول العربية فلا توجد مواصفات فنية منشورة أو متاحة ، وان كانت هناك دراسة [٢] عن مواصفات جيوديسية مصرية مقترحة (مترجمة في أحد الملاحق في نهاية هذا الكتاب) وتم فعلا تطبيقها في بعض مشروعات الجي بي أس في مصر [٣].

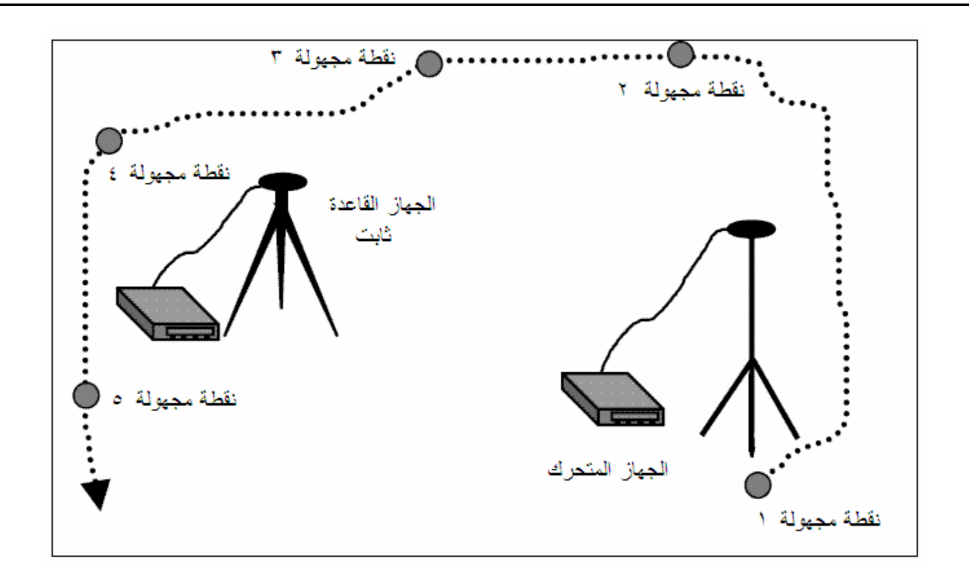
### ٥-٢-٢ طريقة الرصد الثابت السريع Rapid Static:

في حالة وقوع النقاط المجهولة (المطلوب تحديد إحداثياتها) في نطاق مسافة قصيرة – في حدود ١٠-١٥ كيلومتر - من موقع النقطة المعلومة أو المرجعية فيمكن للجهاز المتحرك أن يرصد نقطة مجهولة لمدة زمنية بسيطة ، ثم ينتقل لرصد نقطة مجهولة ثانية و ثالثة و هكذا. يكون الجهاز القاعدة أو الجهاز المرجعي مستمرا في تجميع الأرصاد طوال فترات الرصد كلها لتتوفر أرصاد مشتركة مع الجهاز المتحرك عند كل نقطة مجهولة يقوم برصدها. لذلك سميت هذه الطريقة بالرصد الثابت السريع Fast or Rapid Static (شكل ٥-٤ [٤] ). تتراوح فترة الرصد session عند كل نقطة مجهولة بين ٢ و ١٠ دقائق ، وبمعدل رصد sample rate كل ١٥-٢٠ ثانية مثل الطريقة الثابتة التقليدية. وأيضا يتم نقل الأرصاد من كلا الجهازين إلي الحاسب الآلي لإجراء عمليات الحسابات و استنتاج إحداثيات النقاط المجهولة التي تم رصدها.

[2] Dawod, G., 2003b, Proposed standards and specifications for GPS geodetic surveys in Egypt, Water Science Magazine, No. 33, April. pp. 33-39.

[3] Dawod, G., and Abdel-Aziz, T., 2003, Establishment of precise geodetic control networks for updating the River Nile maps, Proceedings of Al-Azhar Engineering Seventh International Conference (CD No. 3), Al-Azhar University, Cairo, April 7-10.

[4] Al-Rabbany, A., 2002, Introduction to GPS: The Global Positioning System, Artech House, Inc., Boston, USA.




**شكل ٥-٤**
**طرق الرصد الثابت السريع**

تتميز طريقة الرصد الثابت السريع أنها تقلل بدرجة كبيرة من الوقت اللازم لتجميع البيانات الحقلية ، مما يجعلها مناسبة للأعمال المساحية التفصيلية و الطبوغرافية في منطقة صغيرة. لكن وعلي الجانب الآخر فأن الدقة المتوقعة لهذه الطريقة (١٠ ملليمتر ± ١ ppm [5]) لا تصل لنفس مستوي دقة طريقة الرصد الثابت التقليدية مما يجعلها غير مطبقة في الأعمال الجيوديسية الدقيقة.

### ٥-٣ طرق الرصد المتحركة Kinematic:

تعتمد فكرة الرصد المتحرك علي وجود جهاز ثابت مرجعي Base علي النقطة المعلومة بينما يتحرك الجهاز الآخر Rover (أو الأجهزة) لرصد عدد من النقاط المجهولة. تختلف طرق الرصد المتحرك بناءا علي عاملين: أسلوب حركة الجهاز الثاني ، طريقة نقل التصحيحات من الجهاز الثابت لباقي الأجهزة.

#### ٥-٣-١ طرق الرصد المتحرك والحساب لاحقا:

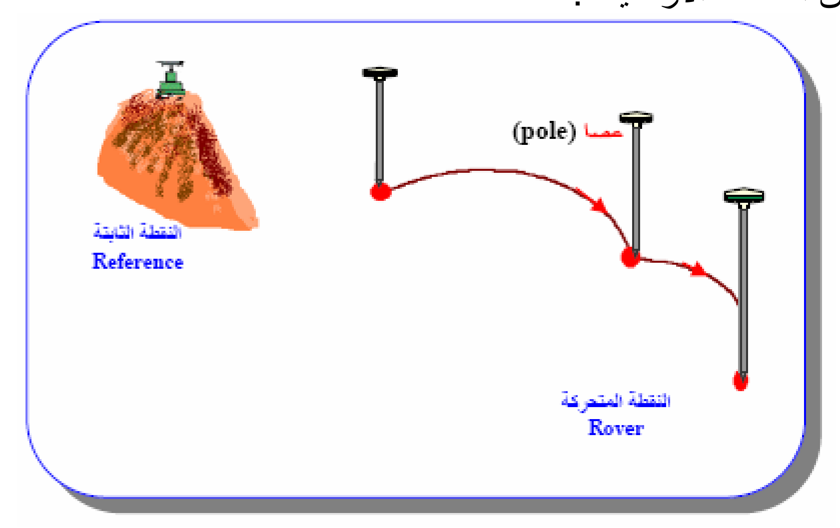
في هذه النوعية من أساليب الرصد المتحرك يتم الاعتماد علي أن التصحيحات - التي يقوم بحسابها الجهاز المثبت فوق النقطة المعلومة – سيتم نقلها إلي أرصاد الأجهزة المتحركة عن طريق برنامج الحساب software في الحاسب الآلي بعد انتهاء الأعمال الحقلية. أي أن حساب إحداثيات النقاط المرصودة سيكون في المكتب أو Post-Processing وليس في الحقل(تسمي هذه الطرق PPK اختصارا لكلمات Post-Processing Kinematic).

أولي هذه النوعية طريقة الذهاب و التوقف Stop and Go وفيها يتوقف الجهاز المتحرك Rover لمدة ١٥-٣٠ ثانية ليرصد كل نقطة من النقاط المجهولة. في أولي النقاط المجهولة

[5] الربيش ، محمد بن حجيلان ، ١٤٢٠ هـ ، النظام الكوني لتحديد المواقع ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.

يتوقف جهاز للاستقبال لمدة ٥-١٠ دقائق يجمع فيها عدد من أرصاد الأقمار الصناعية يسمح بحساب قيمة الغموض Ambiguity ، وتسمي هذه الخطوة: الإعداد Initialization. ثم يبدأ التحرك إلي النقطة الثانية ثم الثالثة و هكذا وهو مستمر في تجميع الأرصاد. طالما لم ينقطع الاتصال (استمرارية استقبال الموجات) بين المستقبل و الأقمار الصناعية فتستمر حركة الجهاز ، إما إذا أنقطع هذا الاستمرار – أي حدث خطأ تغير الدورة Cycle Slip – فيجب العودة لآخر نقطة مرصودة و البقاء أعلاها في وضع الثبات لمدة ٥-١٠ دقائق (عملية إعداد جديدة)، ومن هنا جاء اسم هذه الطريقة: الذهاب و التوقف (شكل ٥-٥) والتي تناسب الرفع المساحي التفصيلي في حدود ١٠-١٥ كيلومتر حول النقطة المعلومة. تقليديا كانت طريقة الذهاب و التوقف أقدم طرق الرصد المتحرك – تم تطويرها في نهاية الثمانينات من القرن العشرين الميلادي – وربما لم تعد مستخدمة بكثرة الآن.

ثاني و أحدث طرق الرصد المتحرك هي ما تعرف باسم طريقة الرصد شبه المتحرك Pseudo-Kinematic والبعض يسميها طريقة الرصد المتحرك Kinematic مباشرة. وأهم مميزاتها أنها لا تتطلب الوقوف عند كل نقطة مجهولة ، إنما تكتفي برصدها حتى ولو ثانية واحدة. أيضا لا تتطلب طريقة الرصد شبه المتحرك إجراء عملية الإعداد لأنها تطبق مبدأ رياضي حديث يسمح بحساب قيمة الغموض أثناء بدء حركة الجهاز Rover من نقطة لآخري (يسمى الحل الطائر On-The-Fly أو اختصارا OFT). أيضا في هذه الطريقة يتم ضبط جهاز الاستقبال بحيث يسجل الأرصاد آليا كل فترة زمنية معينة (مثلا كل ثانية) ولا توجد حاجة للمستخدم لإعطاء أمر الرصد في جهاز الاستقبال عند كل نقطة مجهولة كما في طريقة الذهاب و التوقف. كل هذه المميزات جعلت طريقة الرصد شبه المتحرك أكثر جاذبية وأسهل و أرخص لتطبيقات الرفع المساحي. كمثال تم تطبيق هذه الطريقة في عام ١٩٩٩ في مصر لإنشاء خرائط كنتورية لمنطقة في جنوب مصر (توشكي) تبلغ مساحتها ٧٥٠٠٠ فدان (الفدان = ٤٢٠٠ متر مربع) وتم انجاز العمل في مدة لم تتجاوز الشهرين و بتكلفة مادية أقل بنسبة ٧٥% من تكلفة استخدام طرق المساحة الأرضية[6].



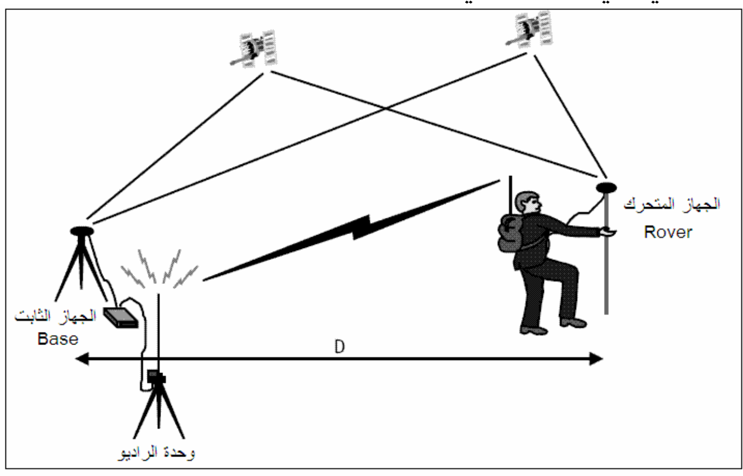

**شكل ٥-٥**
**طريقة الذهاب و التوقف**

[6] Alnaggar, D., and Dawod, G., 1999, Efficiency of GPS techniques in national applications, Proceedings of the International Conference on Integrated Management of Water Resources in the 21st Century, Cairo, November 21-25, Volume II, pp. 741-752.

### ٥-٣-٢ طرق الرصد المتحرك مع الحساب اللحظي:

كانت الطرق التقليدية للرصد المتحرك تعتمد علي فكرة تجميع الأرصاد في الموقع ثم إجراء الحسابات علي الحاسب الآلي في المكتب. لكن وجد مهندسو المساحة أن هناك حالات معينة – مثل توقيع نقاط معلومة الإحداثيات علي أرض الواقع Stack Out – تحتاج حساب قيم إحداثيات النقط المرصودة في نفس لحظة الرصد. من هنا بدأ التفكير في تطوير طرق رصد متحركة جديدة. تعتمد هذه الطرق علي وجود جهاز راديو عند النقطة الثابت يقوم بإرسال أو بث التصحيحات التي يقوم الجهاز المرجعي بحسابها إلي الجهاز (أو الأجهزة) المتحرك والذي بدورها يكون متصل بجهاز راديو لاسلكي آخر (شكل ٥-٦). أي أن الجهاز المتحرك سيتكون من وحدتين: وحدة استقبال إشارات الأقمار الصناعية ، بالإضافة إلي وحدة استقبال لا سلكية لاستقبال التصحيحات المرسلة من الجهاز الثابت. من أرصاد الأقمار الصناعية يقوم الجهاز المتحرك بحساب إحداثيات النقطة المرصودة (لكنها إحداثيات غير دقيقة تماما) ومن تصحيحات الجهاز المرجعي يقوم الجهاز المتحرك بتصحيح الإحداثيات للوصول إلي قيم دقيقة في نفس اللحظة ، ولذلك فتسمي هذه الطرق بطرق الرصد المتحرك الآني Real-Time.

بناء علي نوع التصحيحات التي يحسبها الجهاز الثابت فتوجد طريقتين من طرق الرصد المتحرك مع الحساب اللحظي. إذا كانت التصحيحات خاصة بأرصاد الشفرة code فأن الطريقة تسمي الجي بي أس التفاضلي Differential GPS أو اختصارا DGPS. بينما إن كان الجهاز الثابت يقوم بحساب و تصحيح أرصاد طور الموجة Carrier Phase فأن الطريقة تسمي الرصد المتحرك اللحظي Real-Time Kinematic أو اختصارا RTK. وكما سبق الإشارة فأن أرصاد طور الموجة تكون أكثر دقة من أرصاد الشفرة مما يؤدي إلي أن دقة طريقة الجي بي أس التفاضلي DGPS تكون عدة ديسيمترات أو ما هو أقل من المتر، بينما تصل دقة طريقة الرصد المتحرك اللحظي RTK إلي ٢-٥ سنتيمتر [٧]. ولذلك فأن طرق الرصد التفاضلي تستخدم في التطبيقات الملاحية و نظم المعلومات الجغرافية بينما طريقة الرصد المتحرك اللحظي هي المطبقة في الأعمال المساحية.




**شكل ٥-٦**
**طريقة الرصد المتحرك اللحظي**

[7] Al-Rabbany, A., 2002, Introduction to GPS: The Global Positioning System, Artech House, Inc., Boston, USA.

**٥-٤ مقارنة بين طرق الرصد المختلفة:**

إذا أخذنا عامل الدقة كمقياس للمقارنة بين طرق الرصد في نظام الجي بي أس فأن أعلي هذه الطرق دقة هي طريقة الرصد الثابت التقليدية. أما إذا أخذنا العامل الاقتصادي فأن طرق الرصد المتحرك تقلل بنسبة كبيرة من الزمن اللازم لتجميع القياسات الحقلية مما يجعلها أرخص تكلفة من الطرق الثابتة. لكن هناك عوامل أخري يجب أخذها في الاعتبار ، فمثلا تكلفة شراء وحدات الراديو اللاسلكية وقدرة هذه الأجهزة علي بث التصحيحات يضيف عاملا جديدا في وضع ميزانية شراء أجهزة الجي بي أس.

أما بالنسبة للمقارنة بين الحساب اللاحق Post-Processing والحساب الآني Real-Time فهناك عوامل أخري يجب وضعها في الحسبان. ففي أسلوب الرصد مع الحساب اللاحق تتوافر للمستخدم – باستخدام برامج الحاسب الآلي المتخصصة - فرصة للتحقق من الأرصاد التي تم تجميعها والتأكد من جودتها والتحكم في عمليات الحساب حتى الوصول للإحداثيات النهائية للنقاط المرصودة. علي الجانب الآخر فان أسلوب الرصد المتحرك مع الحساب الآني لا يوفر هذه الميزة ، وعلي المستخدم أن يقبل الإحداثيات المحسوبة كما هي مهما كان مستوي الدقة التي أمكن التوصل إليه (غالبا يكون أقل دقة من حالة الحساب اللاحق). من وجهة نظر الكثير من مستخدمي الجي بي أس – وخاصة في البلاد العربية – فأن الرصد المتحرك الآني هو الأسهل لأنه لا يحتاج لخبرة كبيرة في التعامل مع برامج متخصصة ، كما أنه يعطي النتائج في نفس لحظة الرصد دون الحاجة لأية عمليات حسابية في المكتب. لكن هذا الأسلوب لا يجب أن يطبق إلا في حالة الحاجة للإحداثيات فعلا أثناء الرصد أي في أعمال التوقيع المساحي Setting Out. الجدولان ٥-١ [٨] و ٥-٢ [٩] يقدمان مقارنة سريعة بين الطرق المختلفة للرصد باستخدام نظام الجي بي أس.

[8] US Army Corps of Engineering, 2003, NAVSTAR Global Positioning System Surveying, Technical Manual No. EM1110-1-1003, Washington, D.C., USA.

[9] المؤسسة العامة للتعليم الفني و التدريب المهني ، ١٤٢٦ هـ ، النظام الكوني لتحديد المواقع ، مقرر دراسي لطلاب المعاهد الثانوية الفنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.

**جدول ٥-١**
**مقارنة بين طرق الرصد المختلفة**

| الطريقة | الاحتياجات | التطبيقات | الدقة |
| --- | --- | --- | --- |
| الرصد الثابت التقليدي | - أجهزة استقبال أحادية أو ثنائية التردد. - فترة رصد من ٣٠ دقيقة إلي ساعة علي الأقل. | المساحة الجيوديسية عالية الدقة. | ملليمترات. |
| الرصد الثابت السريع | - أجهزة استقبال أحادية أو ثنائية التردد. - فترة رصد ٥-٢٠ دقيقة. | المساحة الأرضية والمساحة الجيوديسية متوسطة الدقة. | ملليمترات إلي سنتيمترات. |
| الذهاب و التوقف | - أجهزة استقبال أحادية. - فترة رصد ١-٢ دقيقة. - نحتاج فترة إعداد في بداية الرصد. | المساحة الأرضية متوسطة الدقة. | عدة سنتيمترات. |
| شبه التحرك | - أجهزة استقبال أحادية أو ثنائية. | المساحة الأرضية والرفع المساحي. | عدة سنتيمترات. |
| التحرك اللحظي | - أجهزة استقبال أحادية أو ثنائية. - وحدة راديو لاسلكية. - المسافات لا تزيد عن ١٠ كيلومتر. | - التوقيع المساحي. - الرفع المساحي و الهيدروجرافي. - إنشاء ثوابت لضبط الصور الجوية. - المساحة الطبوغرافية والخرائط الكنتورية. | عدة سنتيمترات. |

**جدول ٥-٢**
**مقارنة بين زمن الرصد و دقة طرق الرصد المختلفة**

| الطريقة | زمن الرصد | الدقة |
| --- | --- | --- |
| الرصد الثابت التقليدي | باستخدام أجهزة أحادية التردد: ٤٥-٦٠ دقيقة.<br>باستخدام أجهزة أحادية التردد: ٤٥-٦٠ دقيقة ، ويزيد الزمن بزيادة المسافة بين الجهاز الثابت و المتحرك. | ١ سنتيمتر + ٢ جزء من المليون.<br>٠.٥ سنتيمتر + ١ جزء من المليون. |
| الرصد الثابت السريع | ٨-٢٠ دقيقة طبقا لعدد الاقمار المرصودة. | قريبة من دقة الرصد الثابت التقليدي. |
| الذهاب و التوقف | ٥-٣٠ ثانية | ٢-٥ سنتيمتر + ٢ جزء من المليون. |
| شبه التحرك | ٠.٥ – ٥ ثانية | ٢-٥ سنتيمتر + ٢ جزء من المليون. |
| التحرك اللحظي | ٥-٣٠ ثانية تبعا لحاجة العمل. | ٢ سنتيمتر + ٢ جزء من المليون. |

**الفصل السادس**
**ضبط شبكات الجي بي أس**

### ٦-١ مقدمة:

ضبط الأرصاد أو القياسات Adjustment هو عملية رياضية و إحصائية تهدف للوصول لأحسن أو أدق القيم المحسوبة التي تعد تقديرا دقيقا Estimate للقيم الحقيقية لهذه القياسات. ومن هنا فأن عملية الضبط تعد من أهم خطوات العمل المساحي و الجيوديسي لضمان الوصول إلي أدق الإحداثيات التي تعبر عن حقيقة المواقع علي سطح الأرض. كمثال بسيط: إذا قسنا زاوية معينة ٣ مرات ، فأي هذه القياسات هي الأحسن أو الأدق؟ بالطبع سنجيب أن متوسط القيم الثلاثة سيكون هو الأفضل. نعم ، لكننا هنا نكون قد أجرينا فعلا عملية ضبط Adjustment واستخدمنا معادلة رياضية (حساب المتوسط) كأساس للوصول لقيمة يمكن اعتمادها كأحسن التقديرات لهذه الزاوية. من هنا فأن عملية ضبط الأرصاد تطبق في العمل المساحي منذ عدة قرون ، ويجب الإلمام بمبادئها الأساسية لكل متخصص في الهندسة المساحية بكافة أفرعها.

تتعدد طرق ضبط الأرصاد بكثرة إلا أن طريقة مجموع أقل المربعات Least-Squares Adjustment تعد هي الأشهر و الأكثر تطبيقا في مجال المساحة و الجيوديسيا علي مر العقود. ربما يعود أول عمل منشور عن نظرية أقل المربعات إلي نهاية القرن الثامن عشر الميلادي عندما بدأ العالم لابلاس Laplace في تأسيس هذه الطريقة ، إلا أن أول مقال منشور عتها كان في عام ١٨٠٥ بواسطة العالم لاجندر Legendre وتأصلت الطريقة و تطورت أساسياتها كثيرا علي يد العالم جاوس الذي أستخدمها بكثافة أثناء دراساته في جامعة جوتنبرج في عام ١٧٩٤ ولذلك فهو يعد من مؤسسي طريقة أقل المربعات حتى و إن لم ينشر عنها حتى عام ١٨٠٩ [١]. ومع ظهور تقنية الجي بي أس فقد استخدمت طريقة مجموع أقل المربعات بكثافة في ضبط الأرصاد و الشبكات التي تعتمد علي هذه التقنية أيضا [٢]. وسنستعرض هنا ملخصا بسيطا عن هذه الطريقة و تطبيقاتها في ضبط أرصاد و شبكات الجي بي أس.

### ٦-٢ طريقة مجموع أقل المربعات:

عند رصد قيمة معينة (مسافة أو زاوية مثلا) – نرمز لها بالرمز z مثلا - عدد من المرات فسينتج لنا القياسات – أو الأرصاد – $z_1, z_2, z_3, \ldots z_n$ حيث n عدد مرات القياس. لنفترض أننا بصورة أو بأخرى قد قمنا بحساب تقدير Estimate لهذه القيمة z ولنرمز له بالرمز z' ، وبعد ذلك قمنا بحساب المتبقيات (أو البواقي أو القيم المتبقية) residuals وهي الفروقات بين القيمة المقدرة z' وكل قياس من القياسات ، أي:

$$v_1 = z' - z_1 \ , \ v_2 = z` - z_2, \ \ldots\ldots\ldots\ldots, \ v_n = z' - z_n$$

[1] Ghilani, C., and Wolf, P., 2006, Adjustment computations: Spatial data analysis, Forth edition, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, USA.

[2] Dawod, G., 1991, Some considerations in the adjustment of GPS-derived baselines in the network mode, MSC Thesis, Geodetic science and surveying department, The Ohio State University, Columbus, Ohio, USA.

ثم قمنا بحساب مربعات هذه المتبقيات ، أي $v_1^2, v_2^2, \ldots v_n^2$ ، ثم حسبنا مجموع كل هذه القيم لمربعات المتبقيات ، أي $v_1^2 + v_2^2 + \ldots + v_n^2$ ولنرمز لهذا المجموع بالرمز Q.
الآن نعود للسؤال الأول: كيف تم حساب القيمة المقدرة 'z ؟ وهل هذا التقدير هو أحسن التقديرات Best Estimates للقيمة الحقيقية (المجهولة) z ؟ المبدأ الذي تقوم عليه نظرية مجموع أقل المربعات هو أن حساب القيمة المقدرة 'z يعتمد علي تحقيق شرط أنها تؤدي إلي أقل قيمة لـ Q ، أي أقل قيمة لمجموع مربعات المتبقيات:

$$\Sigma ( v_1^2 + v_2^2 + \ldots + v_n^2 ) = \text{minimum} \qquad (6\text{-}1)$$

ومن هنا جاء أسم الطريقة.

لكن هل جميع القياسات التي قمنا بها $z_1, z_2, z_3, \ldots z_n$ لها نفس درجة الصحة precision؟ أي هل يمكننا اعتبار أن كل القياسات لها نفس الأهمية بنفس القيمة؟ في العمل المساحي عامة فأننا نفرق بين قياس و آخر (لنفس الهدف) باختلاف دقة الجهاز و دقة الراصد و اختلاف الظروف الجوية أثناء الرصد ... الخ ، بما لا يمكننا أن نتعامل مع جميع الأرصاد بنفس الطريقة. ومن هنا فأننا نعطي كل قياس "وزن weight" يعبر عن مقدار ثقتنا في هذه الرصدة.
مثال: للزوايا المقاسه بالثيودليت أو المحطة الشاملة فو كانت الرصدة الأولي تمت بجهاز دقته ١" فنعطيها وزن أكبر من الرصدة الثانية التي أستخدم فيها جهاز دقته ٣". ومن ثم يتطور المبدأ الذي تعتمد عليه نظرية أقل المربعات (المعادلة ٦-١) إلي صورة تأخذ وزن كل قياس في الاعتبار (لنرمز بالوزن بالرمز w لكل قياس ليصبح لدينا مجموعة من الأوزان: $w_1, w_2, w_3, \ldots w_n$) ، وبذلك تتغير المعادلة ٦-١ لتصبح:

$$\Sigma (w_1 v_1^2 + w_2 v_2^2 + \ldots + w_n v_n^2 ) = \text{minimum} \qquad (6\text{-}2)$$

وهو ما يطلق عليه طريقة مجموع أقل المربعات الموزونة Weighted Least-Squares Adjustment وهي الحالة العامة لجميع التطبيقات المساحية و الجيوديسية [3]. وتوجد طريقتان لتكوين الأرصاد أو المعادلات التي ستستخدم في تنفيذ ضبط الأرصاد بنظرية مجموع أقل المربعات وهما [4]: طريقة معادلات الرصد Observation Equations وطريقة معادلات الاشتراطات Condition Equation ، والأولي هي الأكثر استخداما في التطبيقات الجيوديسية و سنستعرض خطواتها في الجزء التالي.

**٦-٢-١ ضبط أقل المربعات باستخدام معادلات الأرصاد:**

عند رصد خط قاعدة بالجي بي أس فأن الأرصاد – أو القياسات - الثلاثة هي $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ والقيم المجهولة ستكون إحداثيات النقطة الأولي $X_1, Y_1, Z_1$ و إحداثيات النقطة الثانية $X_2, Y_2, Z_2$. أي أن معادلات الأرصاد ستكون:

[3] Uotila, U., 1986, Notes on adjustment computations: Part I, Lecture notes, Geodetic science and surveying department, Ohio state university, Columbus, Ohio, USA.
[4] Mikhail, E., 1976, Observations and least squares, University press of America, New York, USA.

$$\Delta X + v_X = X_2 - X_1$$
$$\Delta Y + v_Y = Y_2 - Y_1 \qquad (6\text{-}3)$$
$$\Delta Z + v_Z = Z_2 - Z_1$$

حيث $v_X , v_Y , v_Z$ تمثل المتبقيات (أو تصحيح الأرصاد) في القياسات الثلاثة.

والتي يمكن إعادة ترتيب معاملاتها لتصبح:

$$v_X = X_2 - X_1 - \Delta X$$
$$v_Y = Y_2 - Y_1 - \Delta Y \qquad (6\text{-}4)$$
$$v_Z = Z_2 - Z_1 - \Delta Z$$

المعادلة (٦-٤) يمكن كتابتها في صورة مصفوفات (أسهل في التعامل مع الكمبيوتر و برامج الحساب) كالآتي:

$$V_{n,1} = A_{n,n} \; X_{u,1} - L_{n,1} \qquad (6\text{-}5)$$

حيث:

$V_{n,1}$ متجهه (عمود) المتبقيات vector of residuals ويتكون من n من الصفوف.

$A_{n,n}$ مصفوفة المعاملات Matrix of Coefficients وتتكون من n من الصفوف و u من الأعمدة.

$X_{u,1}$ متجهه المجاهيل (القيم المجهولة) ويتكون من u من الصفوف.

$L_{n,1}$ متجهة الأرصاد vector of observations ويتكون من n من الصفوف.

n عدد الأرصاد.

u عدد المجاهيل.

وللتوضيح قليلا في المعادلة (٦-٤):

n عدد الأرصاد = ٣ $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$.

u عدد المجاهيل = ٦(ثلاثة إحداثيات لكل نقطة من نقطتي خط القاعدة).

$$V = \begin{vmatrix} v_X \\ v_Y \\ v_Z \end{vmatrix}$$

$$A = \begin{vmatrix} -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

$$X = \begin{vmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \\ X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{vmatrix}$$

$$L = \begin{vmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{vmatrix}$$

هذه المتجهات و المصفوفات معلومة ماعدا المتجه X الذي يمثل القيم المجهولة (الإحداثيات) المطلوب إيجاد أحسن تقدير لها. فإذا طبقنا مبدأ أقل مجموع لمربعات المتبقيات (دون الدخول في تفاصيل استنباطه) فأن قيمة تقدير (حل) المتجه X ولنسميها ^X هي:

$$X\text{^} = [\, A^T\, P\, A\,]^{-1} \,.\; [\, A^T\, P\, L] \qquad (6\text{-}6)$$

حيث:

الرمز $^T$ يدل علي مدور المصفوفة Matrix Transpose بينما الرمز $^{-1}$ يدل علي مقلوب المصفوفة Matrix Inverse.

P مصفوفة الأوزان Weight Matrix وتتكون من n من الصفوف و n من الأعمدة ، و كمثال:

$$P = \begin{vmatrix} p_1 & 0 & 0 \\ 0 & p_2 & 0 \\ 0 & 0 & p_3 \end{vmatrix}$$

حيث $p_1, p_2, p_3$ تمثل قيم الوزن لكل رصدة (أو قياس) للأرصاد الثلاثة $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$.

أما مصفوفة جودة الحل Covariance Matrix (تعبر القيم علي المحور المائل للمصفوفة عن مربع الانحراف المعياري لكل قيم من قيم المتجه ^X) ونرمز لها بالرمز $\Sigma_x\hat{}$ ، فيتم حسابها من خلال المعادلة:

$$\Sigma_x\hat{} \;=\; \sigma\hat{}_o{}^2 \quad N^{-1} \qquad (6\text{-}7)$$

حيث:

$\sigma\hat{}_o{}^2$ يسمي تقدير معامل التباين apostoriori variance factor ويحسب من خلال:

$$\sigma\text{^}_o{}^2 = (\, V^T\, P\, V\,) \,/\, (n\text{-}u) \qquad (6\text{-}8)$$

أما القيم المضبوطة للأرصاد الأصلية ذاتها – نرمز لها بالرمز $L^{\wedge}$ – فيمكن حسابها كالآتي:

$$L^{\wedge} = L + V^{\wedge} \qquad (6\text{-}9)$$

وتكون مصفوفة جودة الأرصاد المضبوطة كالآتي:

$$\Sigma_{L}^{\wedge} = \sigma^{\wedge}{}_{o}^{2} A\ [A^{T} P A]^{-1} A^{T} \qquad (6\text{-}10)$$

أما المتبقيات المضبوطة Estimated Residuals فيتم حسابها من المعادلة:

$$V^{\wedge} = [A\ (A^{T} P A)^{-1} A^{T} P - I]\ L \qquad (6\text{-}11)$$

وتكون مصفوفة جودة المتبقيات المضبوطة كالآتي:

$$\Sigma^{\wedge} V = \sigma^{\wedge}_{o}\ 2\ [A\ (A^{T} P A)^{-1} A^{T} - P^{-1}] \qquad (6\text{-}12)$$

### ٦-٢-٢ عيوب الشبكات الجيوديسية في ضبط أقل المربعات:

تعاني أي شبكة مساحية أو جيوديسية من عيوب تحديد موقعها المطلق علي سطح الأرض ، حيث أن معظم القياسات المساحية تكون نسبية و ليست مطلقة. أي أننا نقيس مسافة – مثلا – بين نقطتين لنعبر عن الوضع النسبي لإحداهما عن الأخرى ، لكننا لا نعرف الموقع الحقيقي المطلق (الإحداثيات) لأحدي هاتين النقطتين علي الأقل. ومن هنا فأن عملية الضبط التي نجريها لن تنجح في حساب إحداثيات هذه الشبكة (رياضيا لن نتمكن من إيجاد مقلوب المصفوفة [ATPA] في المعادلة ٦-٦).

ترجع عيوب الشبكات Datum Defects إلي كيفية تحديد المرجع Datum الذي تنسب إليه هذه الأرصاد أو الشبكات. أو بمعني آخر كيفية تحديد نظام الإحداثيات المطلوب التعامل معه وأين تقع نقطة الأصل له واتجاهات محاوره الثلاثة بالنسبة للأرض. تتكون عيوب الشبكات من ٧ عناصر أو عيوب:

- ثلاثة عناصر لتحديد موقع مركز نظام الإحداثيات
- ثلاثة عناصر لتحديد اتجاه محاور النظام.
- عنصر لتحديد معامل القياس.

فإذا أخذنا مثال شبكات المثلثات Triangulation Network فأنها تعاني من العيوب السبعة ، حيث أن أرصاد هذه الشبكات تتكون من قياس الزوايا الداخلية للمثلثات ، فلا يوجد بها إحداثيات مطلقة أو مسافات أو انحرافات. لذلك كان يتم الرصد الفلكي لتحديد الإحداثيات المطلقة (خط الطول و دائرة العرض) لبعض نقاط الشبكة وأيضا رصد الانحراف الفلكي لبعض الخطوط لتحديد اتجاهات الشبكة في الفراغ orientation. أما معامل القياس فكان يتم تحديده من خلال قياس بعض أطوال الخطوط في الشبكة ، وبذلك كان يتم التغلب علي العيوب السبعة للشبكة ومن ثم التوصل إلي الإحداثيات المطلقة لكل نقاطها. أما شبكات المثلثات مقاسة

الأضلاع Trilateration Network فتعاني من ٦ عيوب فقط حيث أن معامل القياس معلوم لان أرصاد هذه الشبكات تتكون من المسافات بين كل نقطة و الأخرى ، أي أن هذا النوع من الشبكات يحتاج أيضا للقياسات الفلكية سواء للإحداثيات أو الانحرافات.

أما في شبكات الجي بي أس: يوجد فقط ٣ عيوب ، فعيوب تحديد اتجاه محاور النظام وأيضا عنصر معامل القياس تكون معلومة. يرجع ذلك إلي أن قياسات الجي بي أس ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$) تمكننا من حساب انحراف وطول هذا الخط:

- ظل (tan) انحراف الخط = $\Delta Y/\Delta X$
- طول الخط = الجذر التربيعي $[\Delta X^2+\Delta Y^2+\Delta Z^2]$

وبالتالي فلا يوجد في شبكة الجي بي أس إلا ٣ عيوب لتحديد مركز محاور نظام الإحداثيات. أي يلزمنا في شبكات الجي بي أس تحديد أو معرفة الإحداثيات المطلقة لنقطة واحدة فقط في الشبكة ومنها يمكن حساب إحداثيات جميع نقاط الشبكة.

إذا كان لدينا نقطة مرجعية معلومة الإحداثيات Reference Control Station فنثبت إحداثياتها أثناء عملية الضبط Fixed Point (أي أن هذه الإحداثيات لن تأخذ أيه تصحيحات وستظل قيمتها ثابتة) وبالتالي حساب إحداثيات باقي النقاط. وهذه الحالة من حالات ضبط مجموع أقل المربعات تسمي الضبط مع أقل عدد من الشروط الخارجية Minimal-Constraints Adjustment. وهذه هي أفضل الحالات حيث أن الدقة الناتجة للإحداثيات ستعبر فقط عن دقة قياسات الجي بي أس المرصودة.

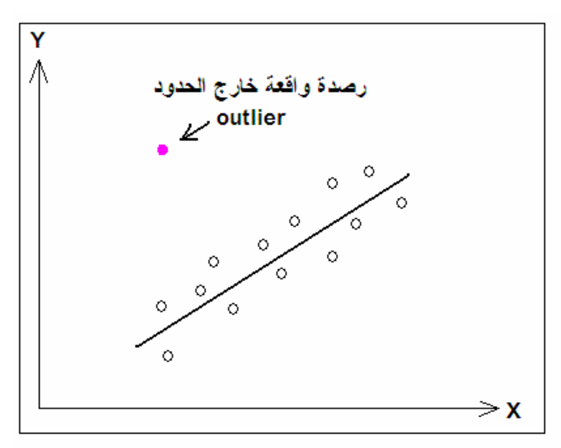
أما إذا كانت شبكة الجي بي أس المرصودة تحتوي علي أكثر من نقطة مرجعية معلومة الإحداثيات يتم تثبيت قيمهم أثناء عملية الضبط فتسمي هذه الحالة الضبط مع شروط خارجية أكثر من اللازم Over-Constraints Adjustment. وهي حالة غير مفضلة في الأحوال العادية لأنه في حالة وجود "عدم توافق" بين إحداثيات النقط المرجعية فأن هذه الاختلافات ستنتقل إلي إحداثيات الشبكة المرصودة بجميع نقاطها ، أي أن الدقة الناتجة لإحداثيات نقاط الشبكة المرصودة ستعبر ليس فقط عن دقة قياسات الجي بي أس إنما أيضا عن دقة النقاط المرجعية المثبتة.

**٦-٣ اكتشاف أخطاء الأرصاد بعد الضبط:**

تعتمد نظرية مجموع أقل المربعات – في أساسياتها – علي مبدأ أن الأخطاء أو المتبقيات residuals المصاحبة للأرصاد هي عبارة عن أخطاء طبيعية أو عشوائية normal or random errors ، وتقوم طريقة الضبط بتوزيع هذه الأخطاء بصورة تضمن الوصول لأحسن تقدير للكميات المجهولة (الإحداثيات مثلا). أي أن الأخطاء المنتظمة Systematic Errors (مثل تأثير خطأ التروبوسفير) لا بد من حسابها و تصحيحها قبل بدء عملية الضبط ذاتها. فإذا لم يتم ذلك – لبعض الأرصاد المقاسه – فأنه سيؤثر بشدة علي جودة النتائج التي يتم حسابها [5]. ومن هنا فأن فحص النتائج يعد من أهم خطوات ضبط الأرصاد أو الشبكات في تطبيقات الجي بي أس لاكتشاف أية أرصاد خاطئة Erroneous Observations وحذفها و إعادة ضبط الشبكة مرة أخري.

[5] Koch, K., 1988, Parameter estimation and hypothesis testing in linear models, Second Edition, Springer-Verlag, Berlin, Germany.

الأرصاد الواقعة خارج الحدود Outliers هي أرصاد أو قياسات تقع خارج حدود معينة (يتم حسابها) من مستويات الثقة (شكل ٦-١) ، وبالتالي فأنها أرصاد غير مرغوب بها ويجب حذفها حتى لا تؤثر علي باقي الأرصاد ومن ثم علي جودة النتائج. لنأخذ مثال بسيط: إذا قسنا مسافة عدد من المرات وكانت قيمها هي ١١.٢٤ ، ١١.٢١ ، ١١.٢٧ ، ١١.٢٨ ، ١١.٢٣ ، ١٧.٨٨ متر. من الواضح أن القياسات الخمسة الأولي قريبة جدا من بعضها البعض بينما الرصدة الأخيرة بعيدة جدا عنهم. مما يجعلنا نشك أن هذا القياس الأخير حدث به خطأ ضخم سواء نتيجة الجهاز المستخدم أو الراصد أو الظروف الجوية لعملية الرصد ذاتها ، وهذا ما نطلق عليه "الرصدة الواقعة خارج الحدود outlier". فإذا قمنا بحساب المتوسط باستخدام جميع الأرصاد فستكون قيمته غير دقيقة ، بينما المنطقي أن يتم استبعاد هذه الرصدة الخاطئة وحساب المتوسط باستخدام الأرصاد الخمسة الأولي فقط.




**شكل ٦-١**
**الأرصاد الواقعة خارج الحدود**

تقوم معظم برامج حسابات الجي بي أس software بعد انتهاء عملية ضبط الأرصاد بإجراء اختبارات إحصائية لتحديد الأخطاء الواقعة خارج الحدود. ويجب علي المستخدم أن يقرر إذا ما كان سيقبل نتائج الضبط أم يحذف هذه الأخطاء و يعيد إجراء الضبط مرة أخري ، أي أن هذه الخطوة لا يقوم بها البرنامج بشكل آلي. ومن هذه الاختبارات الإحصائية اختبار "فحص البيانات data snooping " و اختبار τ (ينطق" تاو") وهو يعد الأكثر تطبيقا في برامج الحاسب الآلي، كما توجد عدة طرق أخري [٦]. وتتكون خطوات تحليل الأرصاد و نتائج الضبط من [٧] :

- إجراء الضبط الأولي باستخدام جميع أرصاد الجي بي أس.
- إذا أشارت نتائج الاختبار الإحصائي لوجود عدد من الأرصاد الواقعة خارج الحدود outliers فلا نحذفها كلها ، إنما فقط نحذف الرصدة ذات أكبر قيمة من نتائج الاختبار. السبب في ذلك أن رصدة واحدة خاطئة من الممكن أن تؤثر علي أرصاد أخري سليمة أو دقيقة ، ومن هنا فأن حذف كل الأرصاد التي تظهر في نتائج الاختبار سيقلل من عدد الأرصاد في الشبكة بصورة غير ضرورية مما سيقلل من جودة الحل النهائي للشبكة.

[6] Lieck, A., 1995, GPS Satellite surveying, John Wiley & Sons Inc., New York, USA.

[7] Alnaggar, D., and Dawod, G., 1995, Increasing the reliability of GPS geodetic networks, Proceedings of the First International Conference on Satellite Positioning Systems, Alexandria, Egypt, December 12-13.

- نعيد إجراء ضبط الشبكة مرة أخري للحصول علي نتائج جديدة سواء للإحداثيات أو للاختبار الإحصائي أيضا.
- تتكرر هذه العملية عدد من المرات حتى نصل في الخطوة الأخيرة إلي عدم وجود أية أرصاد واقعة خارج الحدود علي الإطلاق.
- نعتمد إحداثيات آخر عملية ضبط لتكون الإحداثيات النهائية الدقيقة لشبكة الجي بي أس.

إن تحديد و حذف الأرصاد الواقعة خارج الحدود outliers يحسن من نتائج شبكات الجي بي أس بصورة كبيرة جدا ، ويجب علي المستخدم ألا يهمل هذه الخطوة الإحصائية الهامة حتى يمكنه الحصول علي أصح إحداثيات النقاط المرصودة.

**٦-٤ تطبيقات ضبط أقل مجموع مربعات في أرصاد الجي بي أس:**

يستخدم ضبط أقل مجموع مربعات في أرصاد الجي بي أس في مجالين: (١) ضبط الأرصاد المقاسه (إشارات الأقمار الصناعية) للوصول لأدق قيمة لمركبات خط القاعدة Base Line بين كل نقطتين في الوضع النسبي ، (٢) في ضبط الشبكات [٨].

يعتمد المجال الأول علي برنامج الحساب المستخدم GPS Processing Software والمعاملات المطبقة في هذه الخطوة. عند وجود عدد من الأرصاد أكثر من العدد الأدنى المطلوب Redundant Observations فأن نتائج حسابات الأرصاد ستكون عدد من خطوط القواعد ، وهنا يجب علي المستخدم فحص هذه النتائج بكل عناية. ففي هذه الحالة توجد درجة من الحرية Degree of Freedom (تساوي = عدد الأرصاد – عدد القيم المجهولة) تسمح للمستخدم اختيار أحسن الخطوط التي يتدخل عملية ضبط الشبكة. هنا يجب فحص النتائج الإحصائية لكل خط قاعدة محسوب (وخاصة قيمة الخطأ التربيعي المتوسط RMS وقيمة الخطأ في الخط بالنسبة لطول الخط ppm) لبيان أية خطوط قليلة الدقة. ومن ثم بيان مجموعة الخطوط الدقيقة التي سيتم اعتمادها لبدء عملية ضبط الشبكة. وتوجد بعض المواصفات العامة لعملية التقييم و الفحص هذه (أنظر الملحق رقم ٣).

أما المجال الثاني لتطبيق طريقة ضبط مجموع أقل المربعات فيكون في كيفية تنفيذ ضبط الشبكة بصورة جيدة للوصول لأدق الإحداثيات. وعامة تتم عملية ضبط الشبكات Network Adjustment في عدد من الخطوات المتسلسلة تتكون من:

أ- تحليل خطأ القفل في كل حلقة لضمان حدود قيمه طبقا للمواصفات المطلوبة.
ب- إجراء عملية ضبط غير مقيد Free Net Adjustment (عن طريق تثبيت إحداثيات نقطة واحدة فقط غالبا تكون اختيارية) لفحص جودة الأرصاد ذاتها.
ت- استخدام النتائج الإحصائية للضبط غير المقيد في اكتشاف أية أرصاد غير جيدة Outliers or Blunders وحذفها (عن طريق الاختبارات الإحصائية المعروفة مثل اختبار تاو).
ث- إجراء الضبط النهائي للشبكة Final Constrained Adjustment (سواء بتثبيت إحداثيات نقطة واحدة معلومة فقط Minimal-Constrained أو بتثبيت إحداثيات أكثر من نقطة معلومة Over-Constrained).

[8] Ghilani, C., and Wolf, P., 2006, Adjustment computations: Spatial data analysis, Forth edition, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, USA.

# الفصل السابع
# العمل المساحي بالجي بي أس

## ٧-١ مقدمة:

تتعدد أساليب تنفيذ الأعمال المساحية و الجيوديسية باستخدام الجي بي أس بصورة كبيرة بتعدد طرق الرصد و أنواع الأجهزة و برامج الحسابات ، مما يصعب معه إعداد تصور كامل و دقيق لخطوات تنفيذ أي مشروع مساحي بالجي بي أس. علي الجانب الآخر فهناك خطوط عريضة يتم تطبيقها – بصورة أو بآخري – في أي عمل مساحي بالجي بي أس بهدف التأكد من جودة خطوات العمل المكتبي و الحقلي لضمان الوصول للدقة العالية المنشودة في تحديد المواقع وإنشاء الخرائط ، وهذا هو موضوع هذا الفصل.

## ٧-٢ التخطيط و التصميم:

إن تخطيط ما قبل العمل الحقلي Pre-Planning واختيار مواقع النقاط واختيار الأجهزة المستخدمة و تصميم طريقة واليات الرصد لهو من العوامل الهامة التي تؤثر لاحقا علي الدقة المستهدف الوصول إليها و أيضا تؤثر علي تكلفة المشروع بصفة عامة.

قبل البدء في مشروع الجي بي أس يجب أولا تحديد عدة عوامل تشمل [١ و ٢]:

- طبيعة المشروع و أهدافه.
- الدقة المطلوب تحقيقها أفقيا و رأسيا.
- عدد نقاط التحكم الأفقية و الرأسية المطلوب رصدها.
- المرجع الجيوديسي الذي ستنسب إليه الأرصاد.
- الأجهزة المتاحة و عددها و مواصفاتها.
- أنسب فترات الرصد الحقلي.

### ٧-٢-١ أهداف المشروع و الدقة المطلوبة:

تختلف عوامل التخطيط و التصميم باختلاف طبيعة المشروع ذاته (إنشاء شبكات ثوابت أرضية لمنطقة صغيرة أم لمنطقة شاسعة ، الرفع التفصيلي أو الطبوغرافي بهدف إنشاء الخرائط ، تجميع بيانات مكانية لنظم المعلومات الجغرافية .... الخ). لكل مشروع مواصفات (وخاصة في تحديد الدقة المطلوبة) تختلف باختلاف طبيعة المشروع والهدف منه. كمثال يعرض الجدول ٧-١ مواصفات الدقة المطلوبة في مشروعات أو تطبيقات مختلفة باستخدام الجي بي أس [٣] ، بينما

---

[1] المؤسسة العامة للتعليم الفني و التدريب المهني ، ١٤٢٦ هـ ، نظام تحديد المواقع العالمي ، مقرر دراسي لطلاب الكليات التقنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.

[2] US Army Corps of Engineering, 2003, NAVSTAR Global Positioning System Surveying, Technical Manual No. EM1110-1-1003, Washington, D.C., USA.

[3] حموي ، هيثم نوري ، ١٩٩٧ ، مدخل إلي جيوديسيا الأقمار الصناعية ومقدمة مسهبة في نظام التوضع العالمي، فيينا ، النمسا ، متاح في: http://members.chello.at/hamoui .

الجدول (٧-٢) يقدم مواصفات أخري لحدود الدقة المطلوبة في مشروعات الهندسة المدنية و نظم المعلومات الجغرافية و إنتاج الخرائط [٤].

**جدول ٧-١**
**الدقة المطلوبة لبعض التطبيقات المساحية للجي بي أس**

| التطبيق | الدقة النسبية المطلوبة | الدقة المتوقعة (متر) |
|---|---|---|
| الاستكشاف و نظم المعلومات الجغرافية | $١\times١٠^{-٤}$ | من ١ إلي ٥ |
| الخرائط الطبوغرافية صغيرة المقياس و أنظمة مراقبة المركبات | $١\times١٠^{-٥}$ | من ٠.٢ إلي ١ |
| الرفع المساحي متوسط الدقة والمسح العقاري | من ٥ إلي $١\times١٠^{-٦}$ | من ٠.٠١ إلي ٠.٢ |
| الجيوديسيا وشبكات الثوابت الأرضية والرفع المساحي عالي الدقة | من $٥\times١٠^{-٧}$ إلي $١\times١٠^{-٦}$ | أقل من ٠.٠١ إلي ٠.٠٥ |
| الجيوديسيا الديناميكية (مراقبة تحركات القشرة الأرضية مثلا) والعمل المساحي بدقة عالية جدا | $١\times١٠^{-٧}$ | من ٠.٠٠١ إلي ٠.٠٢ |

**جدول ٧-٢**
**الدقة المطلوبة للجي بي أس في المشروعات المدنية**

| نوع المشروع | مقياس رسم الخريطة | الدقة الأفقية (مم) | الدقة الرأسية (مم) |
|---|---|---|---|
| مخططات مشروعات إنشائية | ١ : ٥٠٠ | ١٠٠ | ٥٠ |
| مخططات الخدمات السطحية و تحت السطحية | ١ : ٥٠٠ | ١٠٠ | ٥٠ |
| رسومات إنشائية و تصميم مباني | ١ : ٥٠٠ | ٢٥ | ٥٠ |
| مخططات رصف الطرق | ١ : ٥٠٠ | ٢٥ | ٥٠ |
| مخططات الحفر | ١ : ٥٠٠ | ٢٥٠ | ١٠٠ |
| مخططات عامة لقرية أو حي | ١ : ٥٠٠٠ | ١٠٠٠ | ١٠٠٠ |
| الرفع المساحي للخدمات الموجودة | ١ : ١٠٠٠ | ١٠٠ | ١٠٠ |
| نظم معلومات جغرافية للمنازل و الخدمات | ١ : ٥٠٠٠ | ١٠٠٠٠ | غير مطلوب |
| خرائط و نظم معلومات جغرافية لتطبيقات بيئية | ١ : ٥٠٠٠ | ١٠٠٠٠ | غير مطلوب |
| خرائط و نظم معلومات جغرافية لخدمات الطوارئ | ١ : ٥٠٠٠ | ١٠٠٠٠ | غير مطلوب |
| خرائط مراقبة الفيضانات وجريان المياه السطحية | ١ : ٥٠٠٠ | ١٠٠٠٠ | ١٠٠ |
| خرائط تصنيف التربة و الجيولوجيا | ١ : ٥٠٠٠ | ١٠٠٠٠ | غير مطلوب |
| خرائط تصنيف الغطاء الأراضي | ١ : ٥٠٠٠ | ١٠٠٠٠ | غير مطلوب |
| مراقبة هبوط المنشئات | مقياس كبير | ١٠ | ٢ |

[4] US Army Corps of Engineering, 2003, NAVSTAR Global Positioning System Surveying, Technical Manual No. EM1110-1-1003, Washington, D.C., USA.

## ٧-٢-٢ اختيار أجهزة الاستقبال وبرامج الحساب:

إن اختيار الأجهزة المتاحة للرصد (عددها و نوعها) أيضا من أهم العوامل المؤثرة علي جودة المنتج النهائي لمشروعات الجي بي أس. فكمثال توجد بعض أجهزة الاستقبال المخصصة لتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية من الممكن أن توفر الدقة المطلوبة لمثل هذه النوعية من التطبيقات (٠.٥ – ٣ متر) لكنها بالطبع لن تكون مناسبة لأعمال الرفع المساحي. أما مواصفات أجهزة الجي بي أس الجيوديسية فتختلف أيضا من شركة لأخرى ويجب اختيار الجهاز الذي يوفر الحد الأدنى من المواصفات التالية:

- أجهزة جيوديسية النوع Geodetic GPS Receivers ذات دقة عالية.
- أجهزة ثنائية التردد (تستقبل كلا ترددي الجي بي أس L1, L2 ).
- تستقبل كلا من الشفرة و الموجة الحاملة.
- تعمل في الوضع الثابت التقليدي.
- تعمل أيضا في الوضع التفاضلي (أي تستقبل التصحيحات من مصدر خارجي).
- متعددة القنوات بحد أدني ٢٤ قناة.
- ذاكرة داخلية أو خارجية تسمح بتخزين القياسات لمدة لا تقل عن ٨ ساعات رصد متواصلة.
- مصدر طاقة داخلي أو خارجي يسمح بتوفير الطاقة اللازمة للجهاز لمدة لا تقل عن ٨ ساعات رصد متواصلة.
- الهوائي مقاوم لتأثير تعدد المسار Multipath بدرجة جيدة.
- دقة عالية في تحديد مركز – أو نقطة – التقاط الموجات Phase Center في الهوائي.
- هوائي حساس بدرجة عالية ، و سهل الضبط و التسامت أعلي النقطة الأرضية المرصودة.

أما الأجهزة أحادية التردد (L1) – غالبا توفر دقة سنتيمترات في تحديد المواقع - فيمكن استخدامها في أعمال الرفع المساحي و الطبوغرافي بصفة عامة ولكنها لا تفضل في التطبيقات الجيوديسية مثل إنشاء شبكة الثوابت الأرضية.

اختيار برامج حسابات الأرصاد و برامج الضبط يعد أيضا مؤثر في جودة النتائج المتوقع الحصول عليها. يشترط أن يقدم برنامج الحساب – علي الأقل - الوظائف التالية:

أ- تخطيط ما قبل الرصد.
ب- معالجة القياسات و تنقيحها.
ت- التعامل مع مختلف طرق الرصد (الثابت ، المتحرك ، .... الخ).
ث- التشغيل الآلي للبيانات Auto-processing mode مع إعطاء المستخدم إمكانية تغيير معاملات الحساب إن أراد.
ج- التعامل مع المدارات الدقيقة للأقمار الصناعية Precise ephemerides وأيضا التصحيحات الدقيقة لخطأ ساعات الأقمار الصناعية Precise satellite clocks.
ح- ضبط الأرصاد لكل فترة رصد session.
خ- ضبط الشبكة بالكامل (سواء الضبط المقيد أو غير المقيد).
د- التحليل الإحصائي للنتائج.
ذ- تحويل الإحداثيات بين المراجع الجيوديسية المختلفة.

ر- إسقاط الإحداثيات بمختلف نظم إسقاط الخرائط.
ز- توفير الرسوم البيانية لصحة النتائج و الضبط.
س- سهولة الاستخدام.

كما أن اختيار الأجهزة و البرامج (في حالة الشراء الجديد) لا بد أن يشمل توافر التدريب الجيد والمتعمق علي استخدام هذه الأجهزة و البرامج في كافة تفاصيل طرق الرصد المتعددة، وأيضا توافر الدعم الفني المستمر من قبل الشركة الموردة.

في حالة الاعتماد علي الرصد المتحرك اللحظي RTK أو الجي بي أس التفاضل DGPS فأن مواصفات وحدة الاستقبال اللاسلكي يجب أيضا أن توضع في الاعتبار. فقدرة ومدي الجهاز في بث التصحيحات تؤثر علي اختيار مواقع و أيضا عدد النقاط الثابتة التي ستستخدم في تنفيذ الرصد الحقلي. بعض أجهزة الراديو اللاسلكية توفر مدي ٣-٥ كيلومترات (أي ستتطلب إنشاء عدد أكبر من نقاط الثوابت في منطقة العمل) بينما البعض الآخر قد يصل مداه إلي ٣٠ كيلومتر.

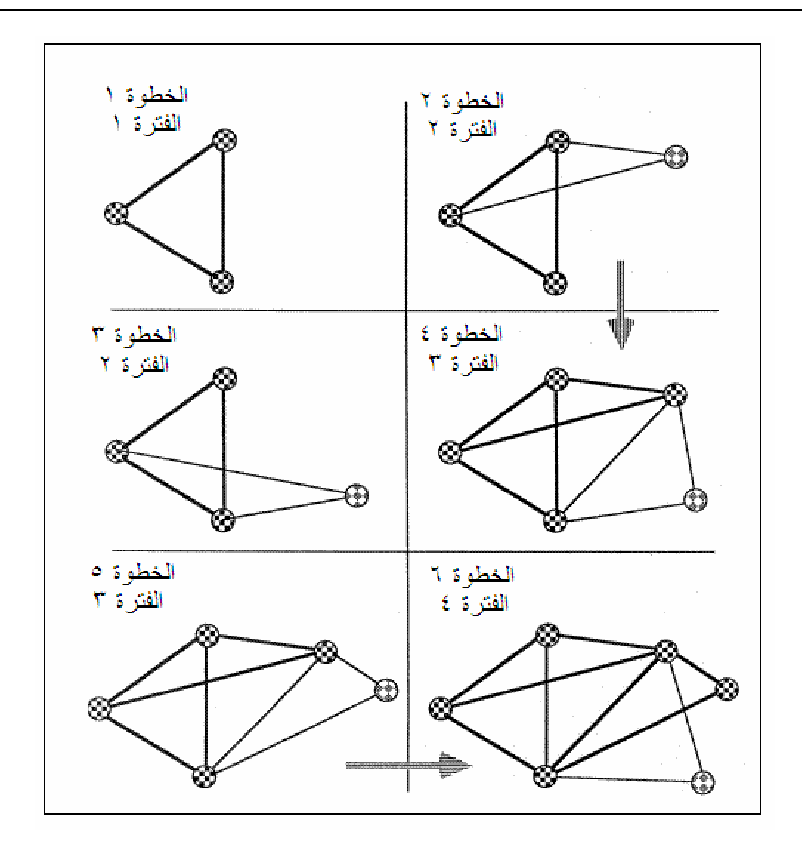
**٧-٢-٣ تصميم خطة الرصد:**

من العوامل المؤثرة علي الزمن المستغرق للعمل الحقلي وضع خطة جيدة لتنقل أجهزة الرصد بين النقاط. مع توافر أجهزة الاتصالات التليفونية المحمولة فقد أصبح تنظيم العمل الحقلي أكثر سهولة و كفاءة ، إلا أن بعض المشروعات من الممكن أن تتم في مناطق خارج حدود تغطية مثل هذه الشبكات الخلوية. وفي هذه الحالات فيجب إعداد تصور كامل وتفصيلي عن كيفية تنظيم مواعيد فترات الرصد sessions وكيفية تنظيم تنقل الأجهزة بين النقاط المختلفة. المثال التالي (شكل ٧-١) يقدم مخططا لكيفية تحريك الأجهزة المتاحة (٣ مستقبلات) لرصد شبكة مكونة من ٦ نقاط أرضية [5]. تبدأ الخطوة الأولي – في التصميم – باستخدام المستقبلات الثلاثة لرصد النقاط ١ ، ٢ ، ٣. ثم هناك بديلين لإضافة النقطة الرابعة (الخطوة ٢ والخطوة ٣) إلا أن الخطوة ٣ هي الأفضل ، ثم في الخطوة التالية يوجد بديلين أيضا (الخطوة ٤ و الخطوة ٥) لرصد النقطة الخامسة حيث الخطوة ٥ تعد أفضل ، وفي آخر الخطوات يتم رصد النقطة السادسة. كما يقدم الشكل (٧-٢) مثالا آخر لرصد ١٠ نقاط في ٧ فترات رصد مع تحقيق بعض الأرصاد المتكررة لضمان جودة الشبكة [6].

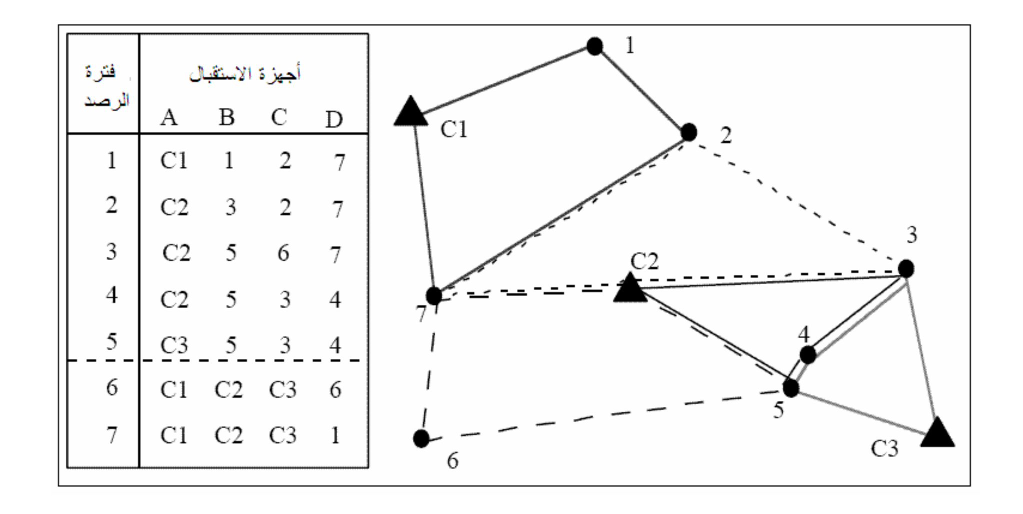
كما أن عدد الأجهزة المتاحة للاستخدام سيكون عاملا مؤثرا في تكلفة المشروع ، فمع أن أجهزة الرصد الجيوديسية مازالت مرتفعة الثمن (من ١٠ إلي ٢٠ ألف دولار للجهاز الواحد طبقا لمواصفاته و مشتملاته) إلا أن بعض التطبيقات عالية الدقة يجب أن يتوافر بها علي الأقل ٣-٤ أجهزة تعمل آنيا.

[5] Wells, D., Beck, N., Delikaraoglou, D., Kleusberg, A., Krakiwsky, E., Lacgapelle, G., Langley, R., Nakiboglu, M., Schwarz, K., Tranquilla, J., and Vanicek, P., 1986, Guide to GPS positioning, Department of geodesy and geomatics engineering lecture note 58, University of New Brunswick, Canada, 291 pp.

[6] Natural Resources Canada, 1995, GPS positioning guide, Third Edition, Ottawa, Canada.




**شكل ٧-١**
**مثال لتخطيط رصد شبكة جي بي أس**



| فترة الرصد | أجهزة الاستقبال A | B | C | D |
|---|---|---|---|---|
| 1 | C1 | 1 | 2 | 7 |
| 2 | C2 | 3 | 2 | 7 |
| 3 | C2 | 5 | 6 | 7 |
| 4 | C2 | 5 | 3 | 4 |
| 5 | C3 | 5 | 3 | 4 |
| 6 | C1 | C2 | C3 | 6 |
| 7 | C1 | C2 | C3 | 1 |



**شكل ٧-٢**
**مثال لفترات رصد شبكة جي بي أس مع تكرار بعض رصد الخطوط**

تحديد مواقع (ومعرفة إحداثيات) نقاط التحكم المتوفرة في منطقة العمل – أو بالقرب منها – من العوامل الهامة أيضا في التخطيط ما قبل العمل الحقلي. كما هو معروف أن أرصاد الجي بي أس في الوضع النسبي Relative Positioning (وهو المطبق في الأعمال المساحية وليس الملاحية) تعطي فروق الإحداثيات بين كل نقطتين مرصودتين ، و لحساب الإحداثيات المطلقة لكل نقطة فيجب ربط الشبكة بنقطة واحدة – علي الأقل – من نقاط التحكم Control Points المعلومة الإحداثيات. يتطلب التخطيط و التصميم لمشروع الجي بي أس معرفة مواقع نقاط التحكم المتوفرة وأيضا الحصول علي إحداثيات هذه النقاط التي ستستخدم لاحقا في مرحلة الحسابات و ضبط الشبكات. ومع أن أقل عدد لنقاط التحكم المطلوبة هو نقطة واحدة فقط إلا أنه يفضل وجود أكثر من نقطة تحكم يتم رصدهم مع الشبكة الجديدة للحصول علي ربط جيد للعمل المساحي المستهدف مع المرجع الجيوديسي ونظام الإحداثيات الوطني للدولة. في التطبيقات الجيوديسية – مثل إنشاء شبكات ثوابت أرضية – يشترط وجود أكثر من نقطة تحكم يتم استخدامهم في أثناء العمل الحقلي [٧]. أما في حالة عدم توافر أية نقاط تحكم علي الإطلاق فيوجد طرق حديثة لربط الشبكة منها: (١) حساب الوضع المطلق الدقيق Precise Point Positioning or PPP لأحدي النقاط الجديدة بالشبكة ويكون ناتجا من رصدها لفترة زمنية طويلة أو (٢) استخدام الشبكة العالمية IGS (سنتحدث عنها لاحقا).

### ٧-٢-٤ تصميم الربط علي شبكات التحكم:

توافر عدد من نقاط التحكم الرأسية المعلومة المنسوب Vertical Control Points مهم أيضا عند تحويل الارتفاعات الناتجة من أرصاد الجي بي أس (ارتفاعات جيوديسية) إلي مناسيب مقاسة من متوسط سطح البحر MSL. لذلك لا بد من وجود نقطة تحكم رأسية واحدة علي الأقل يتم رصدها في احدي فترات رصد مشروع الجي بي أس الجديد. لكن في معظم التطبيقات المساحية فمن الأفضل توافر أكثر من نقطة - من هذه النوعية – في منطقة العمل لاستخدامهم لاحقا للحصول علي دقة جيدة في عملية تحويل الارتفاعات واستنباط قيم المناسيب.

يعرض الجدول (٧-٣) مثال لمجموعة أخري من المواصفات الجيوديسية فيما يتعلق بنقاط الضبط الأفقية و الرأسية المطلوبة عند إنشاء شبكة ثوابت بالجي بي أس سواء بطريقة الرصد الثابت التقليدية أو الرصد الثابت السريع [٨] ، بينما يعرض الجدول (٧-٤) مجموعة أخري من مواصفات تخطيط و رصد شبكة من الثوابت الأرضية باستخدام الرصد الثابت [٩].

[7] Dawod, G., and Abdel-Aziz, T., 2003, Establishment of precise geodetic control networks for updating the River Nile maps, Proceedings of Al-Azhar Engineering Seventh International Conference (CD No. 3), Al-Azhar University, Cairo, April 7-10.

[8] California Department of Transportation, 2006, Global Positioning System (GPS) survey specifications, California, USA.

[9] US Army Corps of Engineering, 2003, NAVSTAR Global Positioning System Surveying, Technical Manual No. EM1110-1-1003, Washington, D.C., USA.

**جدول ٧-٣**
**مواصفات نقاط التحكم المطلوبة في إنشاء شبكة جي بي أس**

| البند | الرصد الثابت التقليدي | الرصد الثابت السريع |
|---|---|---|
| أقل عدد لنقاط التحكم المطلوبة لربط المشروع الجديد | علي الأقل ٣ | علي الأقل ٣ |
| أقصي مسافة بين نقاط التحكم و حدود المشروع | ٣٠ ميل | ٣٠ ميل |
| أقل نسبة مئوية لعدد خطوط القواعد متكررة الرصد | ٥ % | ٥ % |
| أقل عدد تكرار لاحتلال النقاط | ١٠٠% مرتين ، ١٠% ثلاثة مرات | ١٠٠% مرتين ، ١٠% ثلاثة مرات |

**جدول ٧-٤**
**مواصفات الرصد الثابت لإنشاء شبكة جي بي أس**

| البند | شبكة درجة أولي | شبكة درجة ثانية | شبكة درجة ثالثة |
|---|---|---|---|
| الدقة النسبية المطلوبة (جزء في المليون ppm) | ١٠ | ٢٠-٥٠ | ١٠٠ |
| الربط علي الشبكة الوطنية | نعم | نعم | اختياري |
| أقل عدد لنقاط الربط علي المرجع الوطني | ٣ | ٢ | ٢ |
| أنسب عدد لنقاط الربط علي المرجع الوطني | أكثر من ٣ | ٢ | ٢ |
| مرات تكرار رصد خطوط القواعد لنسبة ١٠% من عدد الخطوط | ٢ | ٢ | ٢ |
| أقصي عدد لخطوط القواعد في الحلقة الواحدة | ١٠ | ١٠-٢٠ | ٢٠ |
| أقصي محيط للحلقة الواحدة (كم) | ١٠٠ | ١٠٠-٢٠٠ | اختياري |
| أقصي خطأ قفل الحلقة (جزء من المليون ppm) | ١٠ | ٢٠-٥٠ | ١٠٠-٢٠٠ |
| عدد مرات قياس ارتفاع الهوائي/الجهاز في النقطة | ٢ | ٢ | ٢ |
| أجهزة جيوديسية ثنائية التردد لرصد الخطوط أقل من ٢٠ كم | نعم | لا | لا |
| أجهزة جيوديسية ثنائية التردد لرصد الخطوط أكبر من ٢٠ كم | نعم | نعم | نعم |
| زاوية القناع Mask Angle أثناء الرصد | ١٥° | ١٥° | ١٥° |

**٧-٢-٥ اختيار المرجع الجيوديسي المطلوب:**

تحديد المرجع الجيوديسي Datum الذي سيعتمد عليه المشروع يعد من العوامل الهامة جدا في التخطيط ، هل المطلوب اعتماد المرجع العالمي WGS84 في حساب إحداثيات النقاط المرصودة و إنشاء الخرائط الجديدة للمشروع أم يجب تحويل الإحداثيات لمرجع جيوديسي محلي. فان كانت عملية التحويل Datum Transformation مطلوبة فيجب تحديد طريقة تنفيذها: (١) بمعرفة عناصر تحويل معلومة Transformation Parameters ، (٢) بحساب عناصر التحويل. فان كانت عناصر التحويل معلومة فيجب الحصول علي قيمها من الجهة المسئولة عن حسابها. أما في حالة عدم وجود عناصر تحويل فيجب رصد ٣ نقاط تحكم (معلومة الإحداثيات في المرجع المحلي) مع شبكة الثوابت الجديدة المزمع إقامتها للمشروع واستخدام أحد برامج الحساب لتقدير عناصر التحويل بين المراجع في منطقة العمل.

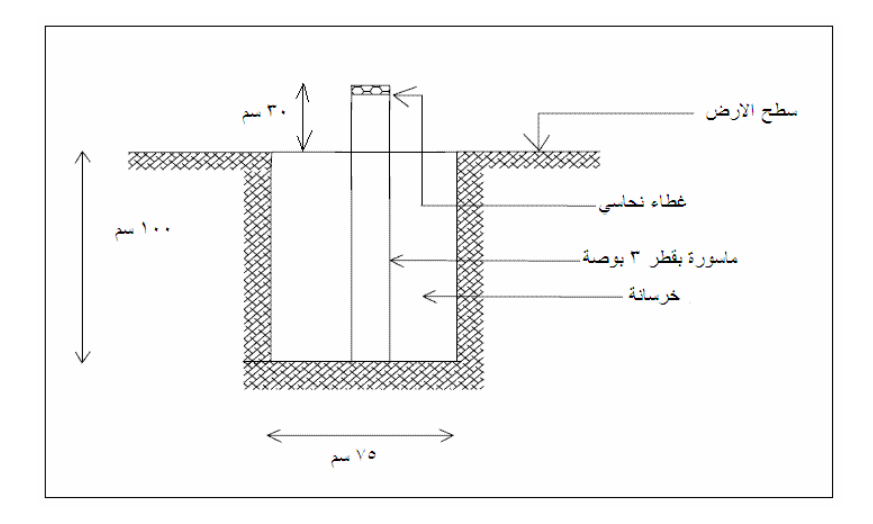
**٧-٢-٦ اختيار مواقع النقاط وتثبيت العلامات:**

مواصفات اختيار مواقع النقاط الثابتة و طريقة بناء العلامات الأرضية يعد أيضا من عوامل التخطيط ما قبل العمل الحقلي. الشكل (٧-٣) يقدم نموذجا عاما لبناء نقطة ثوابت أرضية للتطبيقات المساحية بينما يقدم الشكل (٧-٤) نموذجا آخر للتطبيقات الجيوديسية الدقيقة [١٠]، بينما توجد مواصفات أكثر تفصيلا لإنشاء الثوابت المساحية طبقا لكل نوع من أنواع التربة في منطقة العمل [١١]. النقاط التالية تقدم خطوطا عريضة لكيفية اختيار المواقع المناسبة لإنشاء الثوابت الأرضية:

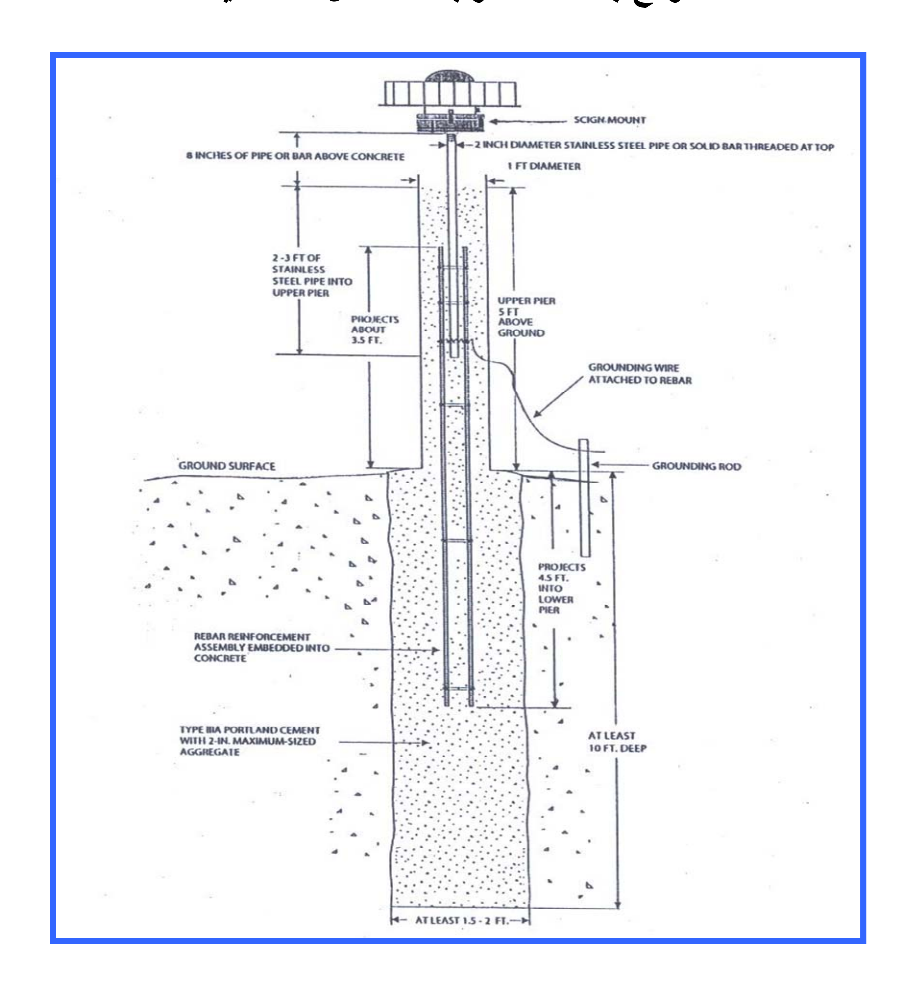
- سهولة الوصول لموقع النقطة.
- ضمان تواجد النقطة في هذا الموقع لفترة طويلة.
- أن يكون الموقع مناسبا للاستخدام المساحي.
- أن يكون البناء علي أرض صخرية صلبة و ثابتة.
- ألا توجد عوائق حول موقع النقطة في حدود ١٥° من مستوي الأفق.

[10] Mahmoud, D., 2004, Monitoring of crustal movements in Egypt using GPS technique, Presented at the United Nations/United States of America International meeting on the use and applications of Global Navigation Satellite System, December 13 – 17, Vienna, Austria.

[11] US Army Corps of Engineering, 1990, Survey markers and monumentation, Engineering manual No. 1110-1-1002, Washington, DC, USA.




**شكل ٧-٣**
**نموذج بناء نقطة ثوابت للأعمال المساحية**




**شكل ٧-٤**
**نموذج بناء نقطة ثوابت للأعمال الجيوديسية**

**٧-٢-٧ اختيار أنسب أوقات الرصد:**

اختيار أنسب وقت للرصد في الجي بي أس يعد أيضا من خطوات التصميم و التخطيط. فمع أن أشارات الأقمار الصناعية في الجي بي أس متاحة ٢٤ ساعة يوميا ، ألا أن دقة و جودة وعدد الأقمار الصناعية يختلف من موقع جغرافي لآخر و من ساعة لآخري في نفس اليوم. يعد معامل دقة الموقع PDOP العامل الأساسي الذي يصف العلاقة بين توزيع الأقمار الصناعية في زمن معين و بين الدقة المتوقعة للرصد في هذا الوقت. ويمكن معرفة قيم PDOP لأي مكان و في أي وقت باستخدام البرامج المتخصصة (أي قبل تنفيذ العمل الحقلي ذاته). لذلك لا بد من استخدام أحد هذه البرامج لحساب معامل الدقة في الأيام المحددة للرصد الحقلي ، ومن ثم اختيار أنسب أوقات أو ساعات اليوم التي يكون فيها معامل PDOP أقل من ٦ ضمانا للوصول لأدق تحديد للمواقع المرصودة. أما للرصد المتحرك اللحظي فأن PDOP أقل من ٣ يعتبر جيدا ، ومن ٣ إلي ٦ يعتبر مقبولا بينما ما هو أكبر من ٦ يعتبر ضعيفا [١٢]. أما قيمة زاوية القناع Mask or Cut-Off Angle فيجب ألا تقل عن ١٥° في معظم التطبيقات المساحية و الجيوديسية.

يعتمد اختيار طول فترة الرصد علي عدة عوامل أهمهم الدقة المتوقعة أو المطلوبة في المشروع المساحي ، بالإضافة لمعامل الدقة GDOP وعدد الأقمار الصناعية المتوفرة في وقت الرصد. الجدول (٧-٥) يقدم خطوطا عريضة لكيفية تحديد طول زمن أو فترة الرصد سواء في طريقة الرصد الثابت التقليدي أو الرصد الثابت السريع ، بينما يقدم الجدول (٧-٦) مواصفات أخري عند استخدام أجهزة استقبال جي بي أس أحادية أو ثنائية التردد [١٣]. أما في حالة أنشاء ثوابت أرضية و رأسية – أي أنه مطلوب تحديد الارتفاع الارثومتري لنقاط الشبكة – فأن مواصفات طول فتره الرصد ستتغير بصورة ملحوظة للوصول إلي دقة جيدة في قياس الارتفاعات كما نري في الجدول (٧-٧) ، وفي هذه الحالة يجب أن يتم ربط الشبكة مع ٣ نقاط تحكم رأسية BM علي الأقل مع استخدام نموذج جيويد جيد.

[12] Ministry of sustainable resource management, 2005, British Colombia guidelines for GPS RRK surveys, Release 1.0, British Colombia, Canada.

[13] US Army Corps of Engineering, 2003, NAVSTAR Global Positioning System Surveying, Technical Manual No. EM1110-1-1003, Washington, D.C., USA.

**جدول ٧-٥**
**طول وقت الرصد الحقلي للرصد الثابت**

| طول خط القاعدة (كم) | عدد الأقمار الصناعية المتوفرة | معامل الدقة GDOP | وقت الرصد (دقيقة) |
|---|---|---|---|
| أولا: الرصد الثابت التقليدي: | | | |
| أقل من ١ كم | أكثر من ٤ | أقل من ٦ | ١٠-٣٠ |
| ١ - ٥ | أكثر من ٤ | أقل من ٦ | ٣٠-٦٠ |
| ٥-١٠ | أكثر من ٤ | أقل من ٦ | ٦٠-٩٠ |
| ١٠-٢٠ | أكثر من ٤ | أقل من ٦ | ٩٠-١٢٠ |
| ٢٠-٥٠ | أكثر من ٤ | أقل من ٦ | ٢-٣ ساعات |
| ٥٠-١٠٠ | أكثر من ٤ | أقل من ٦ | أكثر من ٣ ساعات |
| أكثر من ١٠٠ | أكثر من ٤ | أقل من ٦ | أكثر من ٤ ساعات |
| ثانيا: الرصد الثابت السريع: | | | |
| أقل من ١ كم | أكثر من ٤ | أقل من ٥ | أقل من ٥ دقائق |
| ١-٥ | أكثر من ٤ | أقل من ٥ | ٥-١٠ دقائق |
| ٥-١٠ | أكثر من ٤ | أقل من ٥ | ١٠-١٥ دقيقة |
| ١٠-٢٠ | أكثر من ٤ | أقل من ٥ | ١٠-٣٠ دقيقة |

**جدول ٧-٦**
**طول وقت الرصد الحقلي للرصد الثابت للأجهزة أحادية و ثنائية التردد**

| طول خط القاعدة (كم) | عدد الأقمار الصناعية المتوفرة | وقت الرصد للأجهزة أحادية التردد (دقيقة) | وقت الرصد للأجهزة ثنائية التردد (دقيقة) |
|---|---|---|---|
| ١ – ١٠ | أكثر من ٦ | ٢٤ | ٨ |
| ١٠ – ٢٠ | أكثر من ٦ | ٣٠ | ١٠ |
| ٢٠ - ٥٠ | أكثر من ٦ | ٦٠ | ٢٠ |
| أكبر من ٥٠ | أكثر من ٦ | ٩٠ | ٣٠ |
| | | | |
| ١ – ١٠ | أكثر من ٤ | ٣٦ | ١٢ |
| ١٠ – ٢٠ | أكثر من ٤ | ٤٥ | ١٥ |
| ٢٠ - ٥٠ | أكثر من ٤ | ٧٥ | ٢٥ |
| أكبر من ٥٠ | أكثر من ٤ | ١٣٥ | ٤٥ |

**جدول ٧-٧**
**طول وقت الرصد الحقلي للرصد الثابت لشبكات الثوابت الرأسية**
(للوصول لدقة ± ٣٠ ملليمتر في حساب المناسيب)

| طول خط القاعدة (كم) | وقت الرصد للأجهزة أحادية التردد (دقيقة) | معامل القياس Sample rate (ثانية) |
|---|---|---|
| أقل من ١٠ | ٣٠ | ٥ |
| ١٠ – ٢٠ | ٦٠ | ١٠ |
| ٢٠ – ٤٠ | ١٢٠ | ١٥ |
| ٤٠ – ٦٠ | ١٨٠ | ١٥ |
| ٦٠ – ٨٠ | ٢٤٠ | ١٥ |
| ٨٠ – ١٠٠ | ٣٠٠ | ١٥ |
| أكبر من ١٠٠ | أكثر من ٣٠٠ | ١٥ |

أيضا فأن تحديد معامل الأرصاد sample rate (المعدل الزمني بين كل رصدة و الرصدة التالية) يجب أن يتم قبل بدء العمل الحقلي ويتم ضبط أجهزة الاستقبال قبل التوجه للمشروع. الجدول (٧-٨ يوضح قيم معامل الأرصاد المقترحة لكافة طرق الرصد بالجي بي أس [١٤] ،

**جدول ٧-٨**
**قيم معامل الأرصاد في طرق الرصد المختلفة**

| طريقة الرصد | الثابت | الثابت السريع | الذهاب و التوقف | المتحرك |
|---|---|---|---|---|
| معامل الأرصاد | ١٠ ثانية | ٥-١٠ ثانية | ١-٥ ثانية | ٠.٢ ثانية |

يقدم الجدول (٧-٩ نموذجا آخر لمواصفات الرصد بالجي بي أس في إنشاء شبكة ثوابت أرضية بكلتا طريقتي الرصد الثابت التقليدي و السريع [١٥].

**جدول ٧-٩**
**مواصفات رصد شبكة جي بي أس**

| البند | الرصد الثابت التقليدي | الرصد الثابت السريع |
|---|---|---|
| أقصي قيمة لمعامل الدقة PDOP | ٥ | ٥ |
| أقل زمن لفترة الرصد | ٣٠ دقيقة | ١٥ دقيقة |
| أقصي معامل أرصاد | ١٥ ثانية | ١٥ ثانية |
| أقل زاوية قناع | ١٠° | ١٠° |

[14] المؤسسة العامة للتعليم الفني و التدريب المهني ، ١٤٢٦ هـ ، النظام الكوني لتحديد المواقع ، مقرر دراسي لطلاب المعاهد الثانوية الفنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.
[15] California Department of Transportation, 2006, Global Positioning System (GPS) survey specifications, California, USA.

**٧-٢-٨ اختيار أنسب طريقة للرصد:**

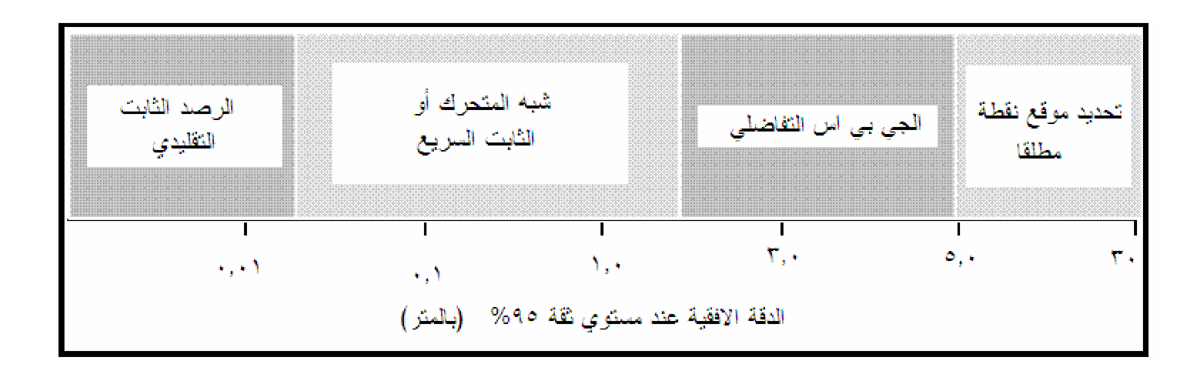
يتم اختيار طريقة الرصد بعد وضع الخطوط العريضة لأهداف المشروع و مستوي الدقة المطلوب الوصول إليه ، حيث تتم المفاضلة بين جميع طرق الجي بي أس وخاصة من وجهة نظر تقنية و اقتصادية في نفس الوقت (شكل ٧-٥ [١٦]). فإذا كان المشروع – مثلا – بهدف استكشاف عام لمنطقة أو تطوير نظم معلومات جغرافية لأماكن الخدمات الموجودة في مدينة أو تحديث الخرائط صغيرة المقياس فيمكن الاكتفاء باستخدام أجهزة الاستقبال الملاحية أو المحمولة يدويا (أجهزة أرصاد الشفرة) والتي توفر دقة في حدود ± ٤-٨ متر وبمتوسط ± ٥ متر [١٧] حيث تكون هذه الدقة مناسبة لمثل هذه التطبيقات و أيضا غير مكلفة ماديا. أما في حالة تطوير نظم معلومات جغرافية لمساحة صغيرة (حي مثلا) أو لأعمال المساحة الهيدروجرافية أو لمراقبة النحر في الشواطئ فأن الدقة المطلوبة ستكون في حدود ± ١ متر أو أقل مما يجعل طريقة الجي بي أس التفاضلي DGPS هي الأنسب وخاصة في حالة توافر مصدر لتصحيحات الأرصاد سواء من جهات توفر هذه الخدمة أو استخدام جهاز مرجعي لحساب تصحيحات الشفرة و نقلها للأجهزة المتحركة سواء لحظيا أو باستخدام التصحيح المكتبي. تعد أجهزة الرصد (النسبي وليس المطلق) المخصصة لتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية بديلا مناسبا لمثل هذه التطبيقات (حيث أنها أرخص سعرا من الأجهزة الجيوديسية و أسهل أيضا في التعامل معها). كما أن خدمات التصحيحات التجارية (مثل خدمة OmniStar) تعد بديلا آخر اقتصاديا في حالة عدم توافر جهات حكومية تبث التصحيحات في محيط منطقة العمل ، وكمثال فقد تم استخدام هذه الخدمة التجارية في الرفع الهيدروجرافي لنهر النيل في مصر وأثبتت أنها توفر الوقت اللازم للأعمال الحقلية بنسبة كبيرة مما جعلها تخفض من تكلفة المشروع. أما للرفع المساحي سواء التفصيلي أو الطبوغرافي فأن طرق الرصد المتحرك تعد هي الأنسب و الأوسع انتشارا ، لكن يبقي المفاضلة بين هذه الطرق لتنفيذ التصحيح و الحسابات في الموقع مباشرة RTK أم في المكتب بعد انتهاء العمل الحقلي PPK. في حالة توقيع نقاط معلومة الإحداثيات فأن طريقة RTK هي البديل الوحيد لان التوقيع اللحظي يتطلب التصحيح اللحظي لأرصاد الجي بي أس ، أما في حالة الرفع المساحي فأن طريقة PPK من الممكن أن تكون هي الأفضل حيث أنها تتيح للمستخدم التحقق من الأرصاد و استبعاد الغير دقيق منها قبل إجراء حسابات تحديد الإحداثيات النهائية للنقاط المرصودة وذلك من خلال البرامج المكتبية المتخصصة بعد انتهاء العمل الميداني ، وان كان البعض يستعمل طريقة RTK في الرفع المساحي لأنها أسرع ولا تحتاج لأية أعمال مكتبية. أما لتطبيقات المساحة الجيوديسية و المساحة الأرضية عالية الدقة فلا يوجد بديل عن طرق الرصد الثابت [١٨].

---

[16] Natural Resources Canada, 1995, GPS positioning guide, Third Edition, Ottawa, Canada.

[17] Dawod, G., 2007, New strategies in the utilization of GPS technology for mapping and GIS activities in Egypt, Civil Engineering Research Magazine (CERM), V. 29, No. 1 (Jan.), pp. 292-310.

[18] US Army Corps of Engineering, 2003, NAVSTAR Global Positioning System Surveying, Technical Manual No. EM1110-1-1003, Washington, D.C., USA.




**شكل ٧-٥**
**مثال للدقة المتوقعة من طرق الرصد المتعددة**

### ٧-٢-٩ المتطلبات الأخرى:

أيضا تجهيز المتطلبات اللوجستية اللازمة يعد من مكونات التخطيط للمشروع لأنه يؤثر علي الوقت المستغرق لتنفيذ العمل الحقلي. يجب عمل حصر بالمتطلبات (عدد و مواصفات السيارات المناسبة لمنطقة العمل ، عدد أفراد الفريق الحقلي وخبراتهم – مثال في الجدول (٧-١٠ [19]) - ، مدي توافر مصدر طاقة دائم لشحن بطاريات أجهزة الرصد ، إمكانيات الاتصالات التليفونية أو اللاسلكية في منطقة العمل ، إمكانيات إقامة مخيم لأفراد الفريق الحقلي .... الخ) وإعدادها قبل بدء العمل الميداني.

### ٧-٣ الرصد الحقلي:

تبدأ خطوات العمل الحقلي باستكشاف منطقة العمل بصورة عامة ، من خلال الخرائط أو المرئيات الفضائية أو الصور الجوية المتوفرة ، كما يمكن الاستعانة بالطرق الحديثة المتوفرة علي شبكة الانترنت مثل برنامج جوجل أيرث Google Earth أو موقع http://www.wikimapia.org المجاني. في مرحلة الاستكشاف يتم اختيار مواقع النقاط الثابتة المطلوب إنشاؤها ويتم إعداد كروكي لكل موقع و طرق الوصول إليه. ويجب مراعاة المواصفات الفنية لتوزيع نقاط الثوابت و مواصفات موقع كل نقطة وخاصة فيما يتعلق بخلو الموقع المقترح من أية عوائق ربما تكون سببا في حدوث خطأ تعدد المسار Multipath Error الذي يؤثر علي جودة و دقة أرصاد الجي بي أس. وقبل بدء الرصد الحقلي يتم مراجعة كافة معاملات التشغيل configuration or setup parameters المخزنة في الجهاز أو وحدة التحكم ، مثل نوع الرصد و معدل الأرصاد وزاوية القناع ... الخ.

[19] Natural Resources Canada, 1995, GPS positioning guide, Third Edition, Ottawa, Canada.

**جدول ٧-١٠**
**مثال لأفراد الفريق الحقلي و مسؤولياتهم**

| الوظيفة | المسؤوليات |
|---|---|
| رئيس الفريق الحقلي | - تنظيم الأرصاد طبقا لخطة الرصد.<br>- التحقق من جودة إشارات الأقمار الصناعية.<br>- التحقق من جودة النتائج يوميا و تعديل خطة الرصد إن لزم.<br>- التغلب علي الصعوبات الفنية و الحياتية للفريق. |
| راصدين | - التأكد من توافر الأجهزة و المعدات اللازمة.<br>- التأكد من شحن بطاريات الأجهزة يوميا.<br>- التأكد من احتلال النقطة المطلوب رصدها فعلا.<br>- ضبط أفقية و تسامت جهاز الاستقبال/الهوائي.<br>- قياس ارتفاع الجهاز/الهوائي.<br>- تشغيل الجهاز.<br>- مراقبة عمل الجهاز و استمرارية الأرصاد.<br>- تكملة تسجيل كل بيانات النقطة في جدول الرصد الحقلي. |
| مشغل بيانات | - التأكد من تجميع بيانات كل الأجهزة.<br>- نقل البيانات من الأجهزة إلي الحاسب الآلي.<br>- عمل نسخ احتياطية backup من كل الأرصاد.<br>- حساب أرصاد الجي بي أس.<br>- ضبط الحلقات أولا بأول.<br>- مراجعة النتائج وإعداد تقرير إلي رئيس الفريق الحقلي. |

إن أجهزة استقبال الجي بي أس تعد أجهزة متطورة وتكاد تكون عملية استقبال و تخزين إشارات الأقمار الصناعية عملية آلية ، وتنحصر الأخطاء البشرية في بعض النقاط التي يجب مراعاتها وبكل دقة:

- إعداد جدول لتسجيل بيانات كل محطة يتم رصدها وخاصة: اسم النقطة ، نوع و موديل و رقم جهاز الاستقبال ، نوع و موديل و رقم الهوائي إن كان منفصلا عن جهاز الاستقبال ، اسم الراصد ، وقت بدء و إنهاء عملية تجميع الأرصاد (شكل ٧-٦ [٢٠]).
- ضبط تسامت و أفقية الجهاز أو الهوائي (شكل ٧-٧) بعناية تامة ودقة ، والتأكد من ضبط الأفقية قبل و بعد عملية تجميع الأرصاد.
- قياس ارتفاع الجهاز بكل دقة مرة قبل بدء تشغيله و مرة أخري بعد انتهاء عملية الرصد. علما بأن بعض الأجهزة تقيس الارتفاع مائلا و بعضها يقيسه رأسيا ، فيجب التأكد من كتيب تشغيل كل جهاز من الطريقة الصحيحة المناسبة (شكل ٧-٨).
- إدخال ارتفاع الجهاز في وحدة التحكم المصاحبة له ، وأيضا تسجيل الارتفاع في جدول الرصد ، وهذه خطوة هامة للتحقق من أن كلا القراءتين سليمتين.
- في الرصد المتحرك يتم قياس ارتفاع الانتنا عن سطح الأرض سواء كانت مركبة علي عصا الرصد pole أو مثبتة علي السيارة من الخارج.

[20] المؤسسة العامة للتعليم الفني و التدريب المهني ، ١٤٢٦ هـ ، النظام الكوني لتحديد المواقع ، مقرر دراسي لطلاب المعاهد الثانوية الفنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.

- اختيار أسما مناسبا لأرصاد كل نقطة في كل فترة رصد عند إدخال البيانات في وحدة التحكم (اسم المشروع Job).
- للرصد المتحرك اللحظي RTK (شكل ٧-٩) يجب ضبط معاملات استقبال التصحيحات في كلا من الجهاز المرجعي و الجهاز المتحرك – طبقا لكتيبات التشغيل - بحيث يكونا متطابقين لضمان إرسال و استقبال التصحيحات.
- متابعة قيمة PDOP – علي شاشة الجهاز - طوال فترة الرصد و تسجيل تغيرها بمرور زمن الرصد.

**نموذج رصد ثابت بجهاز تحديد المواقع GPS**

**( مجموعة من النقط )**

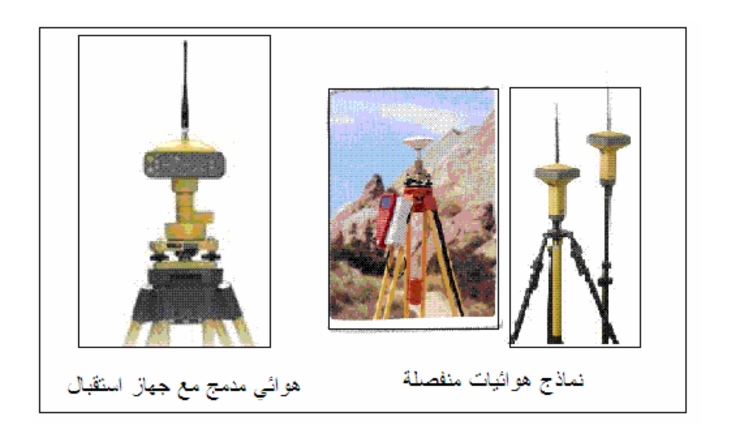
اسم الراصد : ..................................................

| **معلومات عن المشروع:** | **معلومات عن الموقع:** |
|---|---|
| اسم المشروع: .................................. رقم النقطة:............ | الإحداثيات التقريبية للنقطة: |
| نوع النقطة : ☐ ثابت Reference ☐ متحرك Rover | خط الطول: .............................................. |
| نوع الرصد : ☐ ثابت ☐ ثابت سريع | دائرة العرض:.............................................. |
| التاريخ: / / 142 هـ الموافق / / م | الارتفاع:............................................. . |
| وقت بداية الرصد( التوقيت المحلي ):...................... | |
| وقت نهاية الرصد( التوقيت المحلي ) : ...................... | |
| **معلومات عن الجهاز:** | **معلومات عن الأقمار:** |
| اسم الجهاز وموديله :...................... | الأقمار عند بداية الرصد: ........................ |
| رقم وحدة المستقبل: ........................ | الأقمار عند نهاية الرصد : ........................ |
| رقم الهوائي:........................ ارتفاع الهوائي:................ م | التوزيع الهندسي للأقمار: ..................... (PDOP) |

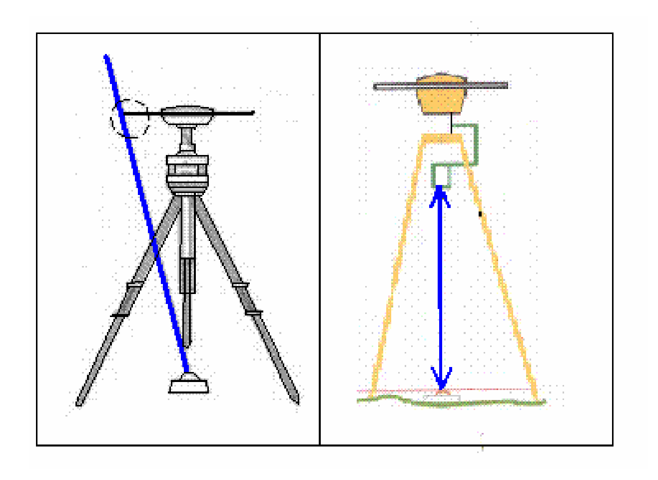
**ملحوظات:**

.............................................................................................................................
.............................................................................................................................
.............................................................................................................................
.............................................................................................................................
.............................................................................................................................
.............................................................................................................................
.............................................................................................................................
.............................................................................................................................

**شكل ٧-٦**
**نموذج لكارت بيانات حقلية لمحطة جي بي أس**




**شكل ٧-٧**
**بعض أجهزة الرصد الجيوديسية**

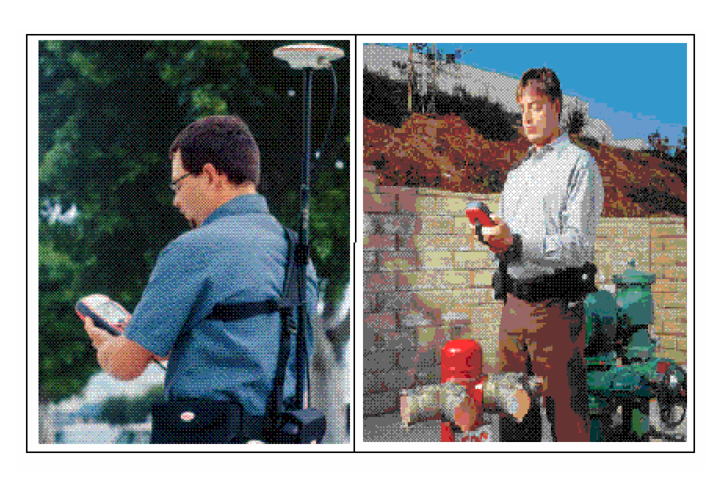


**شكل ٧-٨**
**بعض طرق قياس ارتفاع الجهاز**



**شكل ٧-٩**
**العمل الحقلي للرصد المتحرك اللحظي**

في تطبيقات تجميع البيانات المكانية و غير المكانية Attributes لنظم المعلومات الجغرافية (شكل ٧-١٠) فيجب تصميم حقول قاعدة بيانات المشروع قبل التوجه للحقل. مثلا لمشروع تجميع بيانات المدارس فأن قاعدة البيانات تتكون حقولها من: اسم المدرسة ، نوع المرحلة التعليمية ، اسم الحي و الشارع ، .... الخ ، وبهذه الخطوة يتم تنفيذ العمل الحقلي أسرع عند رصد موقع وإدخال البيانات المطلوبة لكل مدرسة.



**شكل ٧-١٠**
**العمل الحقلي بأجهزة نظم المعلومات الجغرافية**

في تطبيقات التوقيع المساحي Setting-Out (باستخدام طريقة الرصد المتحرك اللحظي RTK) يجب إعداد ملف بإحداثيات النقاط المطلوب توقيعها ورفع الملف إلي جهاز الاستقبال – أو وحدة التحكم – قبل بدء العمل الحقلي. وفي الحقل يتم استدعاء الملف و البدء في توقيع كل نقطة حيث يظهر علي شاشة الجهاز الفروق (مسافة و اتجاه) بين الإحداثيات الحالية و الإحداثيات المطلوب توقيعها ويبدأ الراصد في التحرك حتى يتلاشي هذا الفرق فيقوم بوضع العلامة الأرضية في مكانها المطلوب.

في تطبيقات الرفع الطبوغرافي لمساحة كبيرة يجب إعداد تصور لكيفية تنفيذ العمل الحقلي ومواصفاته وخاصة المسافة الأفقية بين النقاط التي تحقق الوصول لأهداف و دقة المشروع. تعتمد هذه المسافة علي الفترة الكنتورية اللازمة لإعداد الخرائط الكنتورية المطلوبة ، وحيث أن عملية توجيه الراصد في المناطق الصحراوية ( حيث لا توجد أهداف أو علامات أرضية) ليست سهلة فيفضل إعداد مسارات (خطوط) الرصد في ملفات – ملفات أوتوكاد مثلا - و تحميلها إلي أجهزة الاستقبال قبل بدء العمل الحقلي. وبذلك يتم التأكد من أن عملية الرفع المساحي بالجي بي أس تمت كما هو مخطط لها و بالكثافة المطلوبة للبيانات والتي تؤدي لتحقيق أهداف المشروع.

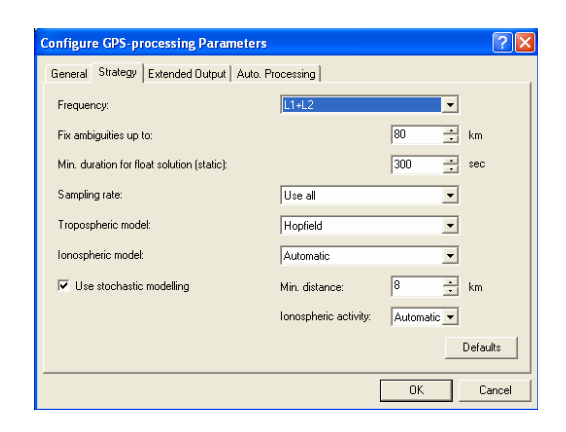
من المهم جدا تحميل بيانات الأرصاد الحقلية من أجهزة الاستقبال إلي الحاسب الآلي Data Download بعد نهاية كل يوم عمل حقلي لفحص الملفات والتأكد من سلامتها وعمل نسخ احتياطية منها علي أقراص مدمجة (CD or DVD). أما في الأعمال الجيوديسية فيفضل إجراء حسابات الأرصاد بصورة مبدئية – يوميا بعد انتهاء العمل الحقلي – للتأكد من جودة الأرصاد بصورة أولية لحين البدء في تنفيذ الحسابات النهائية ، وفي حالة وجود مشاكل في أحدي النقاط المرصودة أو أحد خطوط القواعد فيتم إعادة الرصد في اليوم التالي مباشرة.

### ٧-٤ الحسابات و الضبط:

تقوم كل شركة من الشركات المنتجة لأجهزة استقبال الجي بي أس بتطوير صيغ format خاصة بها لتخزين ملفات الأرصاد. وكل شركة تنتج برنامج حسابات software خاص بها والذي يستطيع التعامل بسهولة مع صيغ الملفات الناتجة من أجهزة من نفس الشركة. في حالة وجود أكثر من نوع من أنواع أجهزة استقبال الجي بي أس المستخدمة في مشروع معين فأن أي برنامج حساب لن يستطيع التعامل مع صيغ ملفات صادرة من أجهزة من شركات أخري. هنا نلجأ لصيغة قياسية standard format تسمح باستخراج البيانات – أو الأرصاد – من أي ملف أرصاد ، وهذه الصيغة تسمي راينكس RINEX وهذا الاسم اختصار لكلمات: صيغة تبادل الملفات التي لا تعتمد علي نوع الجهاز Receiver INdependent EXchange format. كمثال: إذا كان لدينا مشروع تم فيه استخدام أجهزة جي بي أس من شركة ترمبل و أجهزة أخري من شركة ليكا ، فأننا نستدعي البيانات من أجهزة ترمبل download باستخدام برنامج هذه الشركة ثم تعيد تصدير Export الملفات إلي صيغة راينكس حتى يستطيع برنامج حسابات شركة ليكا أن يتعامل معها ، والعكس صحيح أيضا حيث يمكن تحميل بيانات أجهزة ليكا إلي الحاسب الآلي ثم تعيد تصديرها بصيغة راينكس حتى يتعامل معها برنامج حسابات شركة ترمبل.

أما خطوات حساب أرصاد الجي بي أس Data Processing فتختلف باختلاف طريقة الرصد المستخدمة ، لكن التسلسل المنطقي للخطوات يشمل:

- تحميل البيانات من أجهزة الاستقبال إلي الحاسب الآلي.
- اختيار معاملات الحساب Processing Parameters المناسبة لطريقة الرصد المستخدمة (شكل ٧-١١).
- فحص معلومات كل نقطة مرصودة (اسم النقطة ، ارتفاع الجهاز ، نوع الجهاز و نوع الهوائي .... الخ).
- اختيار خطوط القواعد المستقلة independent baselines لحسابها.
- في حالة توافر ملفات دقيقة لمدارات الأقمار الصناعية Precise Orbits فيجب استدعائها للبرنامج مع التأكد من أنها ضمن معاملات الحساب المطلوبة.
- تنفيذ حساب خطوط القواعد Baseline Processing.
- مراجعة و فحص النتائج.




**شكل ٧-١١**
**مثال لضبط معاملات الحساب المطلوبة**

توجد عدة خطوط عريضة تساعد المستخدم في فحص و تقييم نتائج حسابات خطوط القواعد ومنها [٢١] ما هو موجود في الجدول (٧-١٢).

**جدول ٧-١١**
**عناصر تقييم جودة حلول خطوط القواعد**

| العنصر | الحدود المقبولة |
|---|---|
| <u>نوع الحل:</u> | |
| حل ثابت للتردد الأول L1 | مفضل للخطوط أقل من ١٠ كم |
| حل ثابت خالي مكن الأيونوسفير | للخطوط ١٠ – ٧٥ كم |
| حل غير ثابت خالي من الأيونوسفير | مفضل للخطوط أكبر من ٧٥ كم |
| <u>التباين المرجعي Reference Variance:</u> | |
| القيمة الاسمية | من ١ إلي ١٠ |
| القيمة القصوى لأرصاد L1 | ١٠ (يرفض إن زاد عن ٢٠) |
| القيمة القصوى لأرصاد L1, L2 | ٥ (يرفض إن زاد عن ١٠) |
| <u>الخطأ التربيعي المتوسط RMS:</u> | |
| للخطوط أقل من ٥ كم | ١٠ مللي |
| للخطوط أقل من ٢٠ كم | ١٥ مللي |
| للخطوط ٢٠ - ٥٠ كم | ٣٠ مللي |
| نسبة التباين Variance Ratio لحل قيمة الغموض الصحيح Integer Solution | أكبر من ١.٥ للحل الثابت Fixed<br>أقل من ١.٥ للحل غير الثابت Float<br>أكبر من ١.٥ وأقل من ٣.٠: تحذير أو مشكوك به. |

ويعرض الشكل (٧-١٢) مثالا لنتائج حسابات الخطوط حيث يظهر نوع الحل لكل خط و قيمة معامل الحل Ratio وأيضا التباين المرجعي ، مما يسهل فحص جودة حلول الخطوط و اختيار الأدق منهم للدخول في عملية ضبط الشبكة.

| Station (From) | (To) | Solution Type | Slope Dist (m) | Ratio | Reference Variance | Entered Ant Hgt (From) | (To) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A 1001 | MESAS | Iono free fixed | 20841.965 | 6.6 | 3.814 | 1.674 | 1.559 |
| A 1001 | SJH 44 | L1 fixed | 4426.843 | 13.3 | 11.994 | 2.125 | 1.714 |
| COMERIO | A 1001 | Iono free float | 28604.039 | | 3.059 | 2.122 | 2.125 |
| COMERIO | DRYDOCK | Iono free fixed | 26731.603 | 17.2 | 4.845 | 2.122 | 1.683 |
| COMERIO | MESAS | Iono free fixed | 17436.970 | 20.4 | 3.522 | 2.122 | 1.504 |
| COMERIO | MP 1 | Iono free fixed | 26466.871 | 15.9 | 3.535 | 2.122 | 1.651 |
| COMERIO | SJH 44 | Iono free fixed | 26791.206 | 8.0 | 3.748 | 2.122 | 1.714 |
| DRYDOCK | A 1001 | L1 fixed | 2099.928 | 3.5 | 23.933 | 1.683 | 2.125 |
| DRYDOCK | SJH 44 | L1 fixed | 2986.722 | 4.1 | 19.858 | 1.683 | 1.714 |
| MESAS | A 1001 | Iono free fixed | 20841.967 | 1.5 | 3.761 | 1.504 | 2.125 |
| MESAS | DRYDOCK | Iono free fixed | 19984.666 | 16.6 | 5.558 | 1.504 | 1.683 |
| MESAS | SJH 44 | Iono free fixed | 21973.981 | 9.3 | 2.783 | 1.504 | 1.714 |
| MP 1 | A 1001 | L1 fixed | 2160.311 | 4.0 | 21.693 | 1.651 | 2.125 |
| MP 1 | PN 007 | Iono free fixed | 5114.381 | 19.0 | 4.801 | 1.775 | 2.143 |
| MP 1 | PN 030 | L1 fixed | 4609.931 | 8.5 | 27.470 | 1.775 | 1.656 |

**شكل ٧-١٢**
**مثال لنتائج حسابات خطوط القواعد**

[21] US Army Corps of Engineering, 2003, NAVSTAR Global Positioning System Surveying, Technical Manual No. EM1110-1-1003, Washington, D.C., USA.

أما في تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية وطريقة الجي بي أس التفاضلي DGPS فأن النتائج تشمل – غالبا- الإحداثيات المحسوبة للنقاط المرصودة وقيم الانحراف المعياري فيها (شكل ٧-١٣).

| Point | Ref No. | Point Description | FL SP Coordinate X | Y | Obs | 95% Precision * Y | X | X-Y | Z |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 38-1 | 38 | Concrete Bulkhead, in line with East edge of Building | 920,742.89 | 522,331.98 | 720 | 0.6 ft | 0.6 ft | 0.8 ft | 0.9 ft |
| 38-2 | 38 | Concrete Bulkhead, in line with West edge of Building | 920,696.28 | 522,324.20 | 120 | 1.0 ft | 1.0 ft | 1.3 ft | 1.6 ft |
| 94-3 | 94 | Northeast corner of concrete pier @ La Coloma Marina | 918,350.11 | 525,035.11 | 723 | 0.5 ft | 0.5 ft | 0.7 ft | 0.8 ft |
| 94-4 | 94 | Northwest corner of concrete pier @ La Coloma Marina | 918,343.00 | 525,039.66 | 101 | 1.2 ft | 1.2 ft | 1.6 ft | 2.7 ft |
| 110-5 | 110 | Point on corrugated steel bulkhead | 917,156.88 | 525,821.07 | 676 | 0.9 ft | 0.9 ft | 1.1 ft | 1.6 ft |
| 116-6 | 116 | Northeast corner of wooden pier @ Langer-Krell Marine Electronics | 916,946.64 | 525,963.01 | 724 | 0.5 ft | 0.5 ft | 0.6 ft | 0.7 ft |
| 46-7 | 46 | Northeast corner of wooden pier | 919,868.69 | 522,728.61 | 794 | 0.5 ft | 0.5 ft | 0.7 ft | 1.4 ft |

**شكل ٧-١٣**
**مثال لنتائج حسابات الجي بي أس التفاضلي**

يعد ضبط الشبكة Network Adjustment من أهم خطوات حسابات أرصاد الجي بي أس ، ويتكون من عدة خطوات متتالية ضمانا لاكتشاف أيه أخطاء outliers والتوصل لأدق تقديرات الإحداثيات النهائية للنقاط المرصودة. وتشمل هذه الخطوات:

أ- تحليل خطأ القفل في كل حلقة لضمان حدود قيمه طبقا للمواصفات المطلوبة.
ب- إجراء عملية ضبط غير مقيد Free Net Adjustment (عن طريق تثبيت إحداثيات نقطة واحدة فقط غالبا تكون اختيارية) لفحص جودة الأرصاد ذاتها.
ت- استخدام النتائج الإحصائية للضبط غير المقيد في اكتشاف أية أرصاد غير جيدة Outliers or Blunders وحذفها (عن طريق الاختبارات الإحصائية المعروفة مثل اختبار تاو).
ث- إجراء الضبط النهائي للشبكة Final Constrained Adjustment (سواء بتثبيت إحداثيات نقطة واحدة معلومة فقط Minimal-Constrained أو بتثبيت إحداثيات أكثر من نقطة معلومة Over-Constrained).

الشكل (٧-١٤) يقدم مثال لنتائج الضبط الغير مقيد لأحدي شبكات الجي بي أس المكونة من عدد ٣٥ خط قاعدة [٢٢]. بسهولة يمكن ملاحظة أن الخط الثاني عشر به مشكلة حيث أن قيمة الانحراف المعياري له تساوي ٠.١٦٨ متر و الدقة النسبية ppm له تساوي ٢٥.٠٢٣ جزء من المليون. كما أن برنامج الحسابات قد عرض ملاحظة في آخر صفحة النتائج أن هذا الخط محتمل أن يكون رصدة خارج الحدود outlier. بينما يعرض الشكل (٧-١٥ [٢٣]) مثال لنتائج

[22] US Army Corps of Engineering, 2003, NAVSTAR Global Positioning System Surveying, Technical Manual No. EM1110-1-1003, Washington, D.C., USA.
[23] Ghilani, C., and Wolf, P., 2006, Adjustment computations: Spatial data analysis, Forth edition, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, USA.

الضبط المقيد والذي يجب فحص نتائجه بعناية – وخاصة الدقة النسبية prec – ضمانا للوصول للدقة المنشودة للمشروع. كما يقدم الشكل (٧-١٦) مثال للإحداثيات النهائية للنقاط المرصودة و دقة كل نقطة.

```
*****************************************************************
   OUTPUT VECTOR RESIDUALS (East, North, Height - Local Level)
*****************************************************************
```

35 baseline residuals

| SESSION NAME | -- RE -- (m) | -- RN -- (m) | -- RH -- (m) | - PPM - | DIST (km) | - STD - (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| AA5493 to OFFSET (1) | -0.0013 | -0.0110 | -0.0074 | 2.380 | 5.6 | 0.0178 |
| AA5493 to OFFSET (2) | 0.0089 | -0.0007 | -0.0219 | 4.218 | 5.6 | 0.0230 |
| AA5493 to OFFSET (3) | 0.0025 | -0.0055 | -0.0096 | 2.031 | 5.6 | 0.0171 |
| AA5493 to SET1 (1) | -0.0066 | 0.0055 | 0.0079 | 3.645 | 3.2 | 0.0119 |
| AA5493 to SET1 (2) | -0.0039 | -0.0002 | -0.0056 | 2.137 | 3.2 | 0.0188 |
| AA5493 to SET1 (3) | -0.0002 | -0.0090 | -0.0012 | 2.830 | 3.2 | 0.0158 |
| AA5493 to SET2 (1) | -0.0060 | 0.0052 | 0.0071 | 3.136 | 3.4 | 0.0122 |
| AA5493 to SET2 (2) | -0.0065 | -0.0021 | -0.0123 | 4.134 | 3.4 | 0.0183 |
| AA5493 to SET2 (3) | -0.0026 | -0.0113 | -0.0092 | 4.365 | 3.4 | 0.0173 |
| AC2234 to AA5493 (1) | -0.0074 | -0.0026 | -0.0119 | 2.981 | 4.8 | 0.0170 |
| AC2234 to AA5493 (2) | 0.0123 | 0.0046 | 0.0145 | 4.103 | 4.8 | 0.0202 |
| AC2234 to OFFSET (1) | 0.0420 | 0.0358 | -0.1446 | 25.023 | 6.2 | 0.1680 |
| AC2234 to OFFSET (2) | 0.0075 | -0.0019 | 0.0255 | 4.315 | 6.2 | 0.0299 |
| AC2234 to SET1 (1) | -0.0044 | -0.0019 | -0.0033 | 3.307 | 1.8 | 0.0154 |
| AC2234 to SET1 (2) | 0.0092 | 0.0040 | 0.0168 | 11.121 | 1.8 | 0.0204 |
| AC2234 to SET2 (1) | -0.0019 | -0.0019 | -0.0024 | 1.945 | 1.9 | 0.0155 |
| AC2234 to SET2 (2) | 0.0080 | 0.0034 | 0.0212 | 12.298 | 1.9 | 0.0204 |
| AC3733 to AA5493 (1) | 0.0020 | -0.0087 | -0.0281 | 4.382 | 6.7 | 0.0216 |
| AC3733 to AA5493 (2) | 0.0031 | 0.0068 | 0.0111 | 1.981 | 6.7 | 0.0185 |
| AC3733 to AC2234 (1) | -0.0084 | 0.0034 | -0.0083 | 1.364 | 9.0 | 0.0318 |
| AC3733 to OFFSET (1) | 0.0104 | -0.0004 | 0.0027 | 3.283 | 3.3 | 0.0157 |
| AC3733 to OFFSET (2) | -0.0027 | -0.0014 | -0.0115 | 3.639 | 3.3 | 0.0190 |
| AC3733 to SET1 (1) | 0.0033 | 0.0011 | -0.0109 | 1.537 | 7.5 | 0.0191 |
| AC3733 to SET1 (2) | -0.0041 | 0.0028 | 0.0178 | 2.465 | 7.5 | 0.0201 |
| AC3733 to SET2 (1) | 0.0015 | 0.0025 | -0.0013 | 0.437 | 7.2 | 0.0187 |
| AC3733 to SET2 (2) | -0.0028 | 0.0017 | 0.0257 | 3.590 | 7.2 | 0.0227 |
| OFFSET to SET1 (1) | 0.0040 | 0.0072 | 0.0092 | 2.505 | 4.9 | 0.0132 |
| OFFSET to SET1 (2) | 0.0008 | -0.0044 | -0.0082 | 1.891 | 4.9 | 0.0130 |
| OFFSET to SET1 (3) | -0.0017 | -0.0109 | -0.0153 | 3.816 | 4.9 | 0.0196 |
| OFFSET to SET2 (1) | 0.0047 | 0.0069 | 0.0085 | 2.594 | 4.6 | 0.0131 |
| OFFSET to SET2 (2) | -0.0001 | -0.0040 | -0.0056 | 1.510 | 4.6 | 0.0133 |
| OFFSET to SET2 (3) | -0.0020 | -0.0129 | -0.0103 | 3.624 | 4.6 | 0.0213 |
| SET1 to SET2 (1) | -0.0010 | -0.0010 | 0.0031 | 8.072 | 0.4 | 0.0164 |
| SET1 to SET2 (2) | 0.0002 | -0.0007 | 0.0023 | 5.797 | 0.4 | 0.0116 |
| SET1 to SET2 (3) | 0.0012 | 0.0001 | -0.0039 | 9.631 | 0.4 | 0.0113 |
| RMS | 0.0088 | 0.0082 | 0.0275 | | | |

$ - This session is flagged as a 3-sigma outlier

**شكل ٧-١٤**

**مثال لنتائج ضبط غير مقيد شبكة جي بي أس**

| From | To | ±S | Slope Dist | Prec |
|---|---|---|---|---|
| A | C | 0.0116 | 12,653.537 | 1,089,000 |
| A | E | 0.0100 | 7,183.255 | 717,000 |
| B | C | 0.0116 | 10,644.669 | 916,000 |
| B | D | 0.0097 | 11,211.408 | 1,158,000 |
| D | C | 0.0118 | 17,577.670 | 1,484,000 |
| D | E | 0.0107 | 9,273.836 | 868,000 |
| F | A | 0.0053 | 6,430.014 | 1,214,000 |
| F | C | 0.0115 | 10,617.871 | 921,000 |
| F | E | 0.0095 | 6,616.111 | 696,000 |
| F | D | 0.0092 | 8,859.036 | 964,000 |
| F | B | 0.0053 | 10,744.076 | 2,029,000 |
| B | F | 0.0053 | 10,744.076 | 2,029,000 |
| A | F | 0.0053 | 6,430.014 | 1,214,000 |

**شكل ٧-١٥**

**مثال لنتائج ضبط نهائي شبكة جي بي أس**

| Station | X | Y | Z | Sx | Sy | Sz |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 402.35087 | -4,652,995.30109 | 4,349,760.77753 | | | |
| B | 8,086.03178 | -4,642,712.84739 | 4,360,439.08326 | | | |
| C | 12,046.58076 | -4,649,394.08256 | 4,353,160.06335 | 0.0067 | 0.0068 | 0.0066 |
| E | -4,919.33908 | -4,649,361.21987 | 4,352,934.45341 | 0.0058 | 0.0058 | 0.0057 |
| D | -3,081.58313 | -4,643,107.36915 | 4,359,531.12202 | 0.0055 | 0.0056 | 0.0057 |
| F | 1,518.80119 | -4,648,399.14533 | 4,354,116.68936 | 0.0030 | 0.0031 | 0.0031 |

**شكل ٧-١٦**
**مثال لنتائج إحداثيات نقاط شبكة جي بي أس**

### ٧-٥ تحويل الإحداثيات:

في آخر خطوات حسابات أرصاد الجي بي أس يتم تحويل الإحداثيات النهائية المضبوطة للمواقع المرصودة من المجسم العالمي WGS84 إلي المرجع المحلي (إن لزم ذلك في حالة توقيع هذه النقاط علي خرائط وطنية مختلفة المرجع). تتكون هذه الخطوة الأخيرة من مراحل الحسابات من خطوتين فرعيتين: (١) تحويل المرجع Datum Transformation ، (٢) إسقاط الخرائط Map Projection. جميع البرامج التجارية commercial software الخاصة بحسابات الجي بي أس تحتوي طرق لتنفيذ كلتا الخطوتين ، بشرط تعيين قيم المعاملات اللازمة.

تحويل المراجع يشمل تحويل الإحداثيات الجيوديسية ثلاثية الأبعاد (خط الطول و دائرة العرض و الارتفاع الجيوديسي) أو الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية (X, Y, Z) من المرجع الجيوديسي العالمي WGS84 - الذي تنسب إليه أرصاد نظام الجي بي أس – إلي المرجع الجيوديسي الوطني لدولة معينة. يلزم تنفيذ هذه الخطوة معرفة قيم لعناصر التحويل السبعة (أرجع إلي الجزء ٢-٤-٨) بين هذين المرجعين. يمكن استخدام القيم الموجودة في الجدول (٢-٢) مع مراعاة أنها ليست عالية الدقة ، أو الحصول من الجهات الحكومية علي قيم أكثر دقة لعناصر التحويل في هذا البلد. كما يمكن أيضا حساب قيم لعناصر التحويل في حالة معرفة الإحداثيات المحلية لثلاثة نقاط علي الأقل ورصدهم مع شبكة الجي بي أس الجديدة للحصول علي إحداثياتهم علي WGS84 أيضا.

أما الخطوة الثانية فتهدف لإسقاط الإحداثيات ثلاثية الأبعاد إلي إحداثيات ثنائية الأبعاد لتوقيعها علي الخرائط. هنا لا بد من معرفة نوع المسقط المستخدم – في الخرائط المطلوب التوقيع عليها – بالإضافة لقيم العناصر الخمسة التي تحدد مواصفات هذا المسقط (أرجع إلي الجزء ٢-٤-٧).

يجب الإشارة إلي أنه في حالة طريقة الرصد المتحرك اللحظي RTK فيجب تغذية جهاز استقبال الجي بي أس (أو وحدة التحكم به) بقيم عناصر التحويل بين المراجع و أيضا بقيم معاملات نظام الإسقاط حتى يستطيع الجهاز تحويل الإحداثيات - من WGS84 إلي الإحداثيات المسقطة المطلوبة – آنيا في نفس لحظة الرصد ، وبالتالي تكون الإحداثيات الناتجة في الموقع في نظام الإسقاط الوطني المطلوب مباشرة.

أيضا تجدر الإشارة إلي أن دمج أرصاد الجي بي أس مع أرصاد مساحة أرضية أصبح متاحا الآن سواء علي مستوي الأجهزة أو مستوي برامج الحسابات [٢٤]. تم إنتاج أجهزة تدمج مستقبل جي بي أس مع محطة شاملة Total Station في جهاز واحد لتحقيق سهولة في العمل بجهاز واحد بدلا من جهازين (مثال جهاز Smart Station من إنتاج شركة ليكا). كما أن برامج الحسابات الحديثة أصبحت تتعامل مع كلا من أرصاد الجي بي أس وأيضا أرصاد أجهزة المساحة الأرضية (مثل برنامج Geomantic Office من شركة ترمبل أو برنامج Geo Office من شركة ليكا) حيث تتم خطوات الحسابات و الضبط و إسقاط الخرائط لكل أنواع الأرصاد في إطار واحد.

أما عن تحويل الارتفاعات الناتجة من أرصاد الجي بي أس إلي قيم المناسيب MSL فسنتناول هذا الموضوع في فصل آخر.

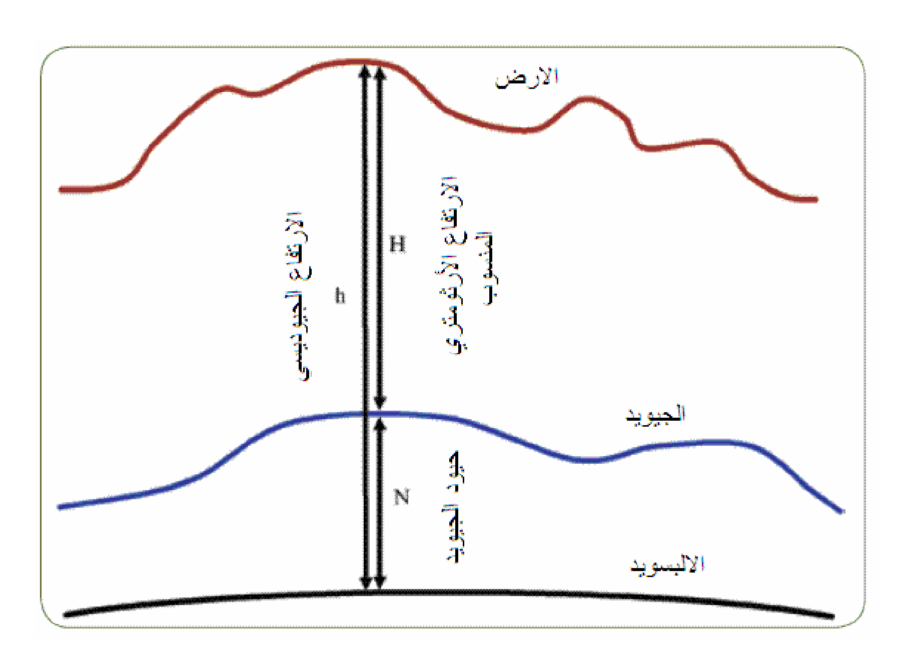
[24] داود ، جمعة محمد ، ٢٠٠٩ ، أحدث التطورات في إنتاج الأجهزة المساحية ، منتدى المهندسون العرب في الرابط: http://www.arab-eng.org/vb/t138959.html#post1141850

# الفصل الثامن
# الجي بي أس و الجيويد

## ٨-١ مقدمة:

تعتمد أرصاد الجي بي أس وأيضا الإحداثيات الناتجة عن هذه التقنية علي المجسم أو الاليبسويد العالمي WGS84 ، أي أن الارتفاع الناتج من الجي بي أس يكون مقاسا من سطح هذا الاليبسويد ولذلك يسمي الارتفاع الاليبسويدي Ellipsoidal Height أو الارتفاع الجيوديسي Geodetic Height . بينما في التطبيقات المساحية و الخرائطية فأن الارتفاع المستخدم – أي المنسوب – يكون مقاسا من منسوب متوسط سطح البحر MSL أو الذي يمثل شكل الجيويد ، ويسمي الارتفاع الأرثومتري Orthometric Height. والفرق بين سطح الاليبسويد و سطح الجيويد يسمي حيود الجيويد Geoid Undulation أو ارتفاع الجيويد Geoidal Height (شكل ٨-١) ، وهو فرق مؤثر لا يمكن إهماله حيث قد تصل قيمته إلي ١٠٠ متر في بعض المناطق علي الأرض. كمثال في مصر يتراوح حيود الجيويد بين حوالي ٩ متر عند الحدود المصرية السودانية في الجنوب و حوالي ٢٢ متر عند البحر الأبيض المتوسط في الشمال. ولكي يتم تحويل الارتفاع الجيوديسي لنقطة ما (النرمز له بالرمز h) إلي منسوبها المقابل (لنسميه H) فيجب معرفة قيمة حيود الجيويد (N) عند هذه النقطة طبقا للمعادلة:

$$h = H + N \tag{8-1}$$




**شكل ٨-١**
**العلاقة بين أنواع الارتفاعات**

لذلك فمن المهم عند استخدام نظام الجي بي أس في المشروعات المساحية أن نحصل علي نموذج للجيويد حتى يمكن تحويل ارتفاعات الجي بي أس إلي مناسيب و بدقة تناسب العمل الهندسي. توجد عدة طرق لتحديد حيود الجيويد سنتعرض لها في هذا الفصل.

## ٨-٢ طرق نمذجة الجيويد:

توجد طرق عديدة لحساب قيمة حيود الجيويد – أي نمذجة الجيويد Geoid Modeling - تعتمد علي عدة أنواع من القياسات الجيوديسية مثل: الأرصاد الفلكية ، أرصاد الجاذبية الأرضية ، أرصاد الجي بي أس مع الميزانيات ، طرق التمثيل المتناسق لمجال جهد الأرض باستخدام أرصاد مختلفة النوع Heterogeneous Data. لم تعد القياسات الفلكية منتشرة في السنوات الماضية مما جعل استخدامها في نمذجة الجيويد لم يعد مطبقا الآن ، وسنتناول الطرق الأخرى بصورة مبسطة في الأجزاء التالية.

### ٨-٢-١ نمذجة الجيويد من أرصاد الجاذبية الأرضية:

باستخدام أجهزة خاصة Gravimeters يتم قياس قيمة الجاذبية الأرضية Measured Gravity علي سطح الأرض ، كما يمكن أيضا باستخدام خصائص الاليبسويد حساب قيمة الجاذبية النظرية Theoretical or Normal Gravity علي سطح الاليبسويد. الفرق بين قيمة الجاذبية المقاسه و قيمة الجاذبية النظرية المحسوبة - يسمي شذوذ الجاذبية Gravity Anomalies - يعبر بصورة معينة عن الفرق بين كلا من الاليبسويد و الجيويد [١]. تمكن العالم ستوكس Stokes في عام ١٨٤٩ من استنباط المعادلة التالية التي يمكن منها حساب قيمة حيود الجيويد من قيم شذوذ الجاذبية [٢]:

$$N = ( R / 4\pi ) \iint \Delta g \, S(\psi) \, d\sigma \qquad (8\text{-}2)$$

حيث:

R تمثل نصف قطر الأرض المتوسط.
$\Delta g$ شذوذ الجاذبية
$S(\psi)$ دالة ستوكس
$\psi$ المسافة الدائرية بين نقطة الحساب والنقطة المقاس عندها الجاذبية.
$d\sigma$ جزء صغير من الأرض يتم التكامل باستخدامه.

كما نري في هذه المعادلة فأن التكامل الثنائي $\iint$ يتم علي كل سطح الأرض ، أي أنه لحساب قيمة حيود الجيويد N عند نقطة واحدة فيلزمنا عشرات الآلاف من قياسات شذوذ الجاذبية ، وهذا أول عيوب هذه الطريقة. أيضا فأن قياسات شذوذ الجاذبية تحتاج تصحيحا إضافيا يعتمد علي معرفة تضاريس الأرض مما يتوجب معه أننا نحتاج نموذج ارتفاعات رقمي Digital Elevation Model أو DEM للمنطقة المطلوب حساب الجيويد لها. لكن علي الجانب الآخر فأن نمذجة الجيويد من أرصاد الجاذبية الأرضية يتميز بأن قياسات الجاذبية الأرضية أسهل و أسرع و أرخص من أنواع الأرصاد الجيوديسية الأخرى. كما أن إطلاق أنواع خاصة من الأقمار الصناعية لقياس الجاذبية الأرضية علي المستوي العالمي – في السنوات القليلة الماضية - قد أحدث ثورة علمية في مجال استخدام هذه الطريقة لنمذجة الجيويد. كمثال لقياسات

[1] تعيلب ، علي عبد العظيم ، ١٩٩٦ ، الجاذبية الأرضية ، المعهد القومي للبحوث الفلكية و الجيوفيزيقية ، حلوان، مصر.

[2] Hofman-Wellenhof, B. and Moritz, H., 2005, Physical geodesy, Springer Wien, New York, USA.

الجاذبية الأرضية في البلدان العربية فقد تم إقامة الشبكة القومية المصرية للجاذبية الأرضية في الفترة ٩٤-١٩٩٧ وتكونت من ١٥٠ محطة جاذبية أرضية موزعين علي معظم المناطق المأهولة بمتوسط مسافات بين النقاط يبلغ ٧٠ كيلومتر (شكل ٨-٢) و بدقة متوسطة ±٠.٠٢٢ مللي جال [٣] (المللي جال هو وحدة قياس الجاذبية الأرضية و يساوي١٠^-٥ متر/ثانية^٢).

لعدم إمكانية قياس الجاذبية الأرضية علي كل جزء من الأرض فأن المعادلة (٨-٢) تتحول لصورة أخري حيث يتم تجزئة قيمة حيود الجيويد N إلي ثلاثة مركبات:

$$N = N^{GGM} + N^{\Delta g} + N^{H} \qquad (8-3)$$

حيث:

$N^{GGM}$ = قيمة تأثير نموذج يعبر عن مجال الجاذبية عالميا.

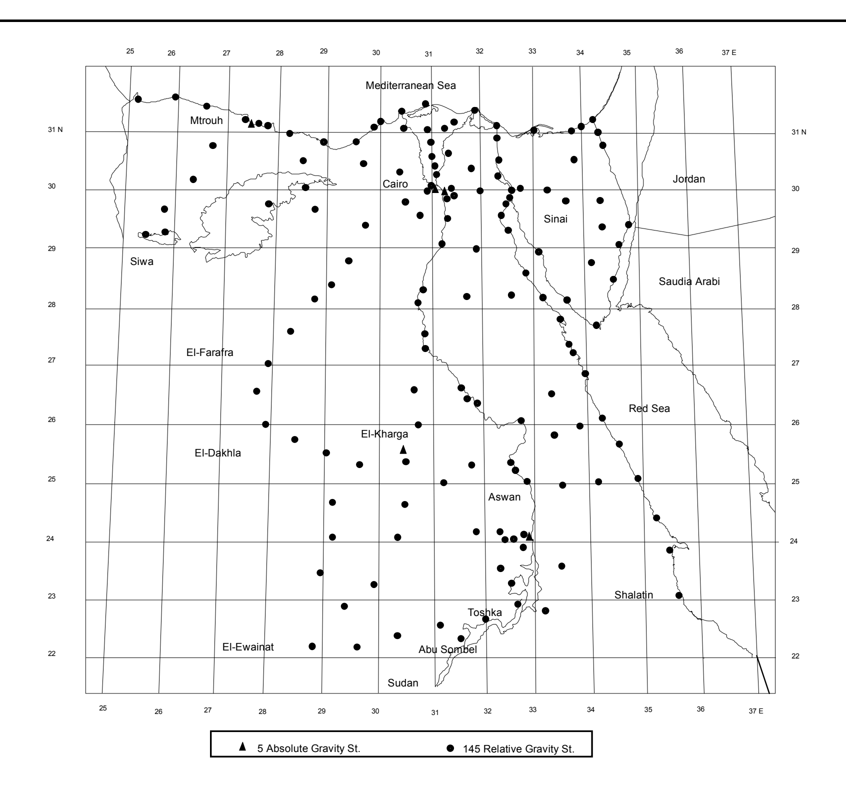
$N^{\Delta g}$ = قيمة تأثير الجاذبية الأرضية المحلية.

$N^{H}$ = قيمة تأثير تغير الطبوغرافيا في المنطقة.

أي أن نمذجة الجيويد في منطقة معينة تحتاج: (١) نموذج جيويد (أو نموذج جاذبية) عالمي ، (٢) قياسات جاذبية أرضية محلية للمنطقة ، (٣) نموذج ارتفاعات رقمي يمثل طبوغرافية المنطقة. هذا الأسلوب هو المطبق في نمذجة الجيويد علي مستوي الدول ، وكمثال فقد تم استخدام قياسات شبكة الجاذبية الأرضية المصرية في تطوير عدد من نماذج الجيويد في مصر وكان أحدثهم الجيويد المسمي SRI2002B (شكل ٨-٣) والذي بلغت دقته علي المستوي الوطني ٠.٤٩ متر [٤] [ لمعلومات أكثر عن جهود نمذجة الجيويد في مصر: http://gomaa.dawod.googlepages.com/egypt.geoid.arabic ].

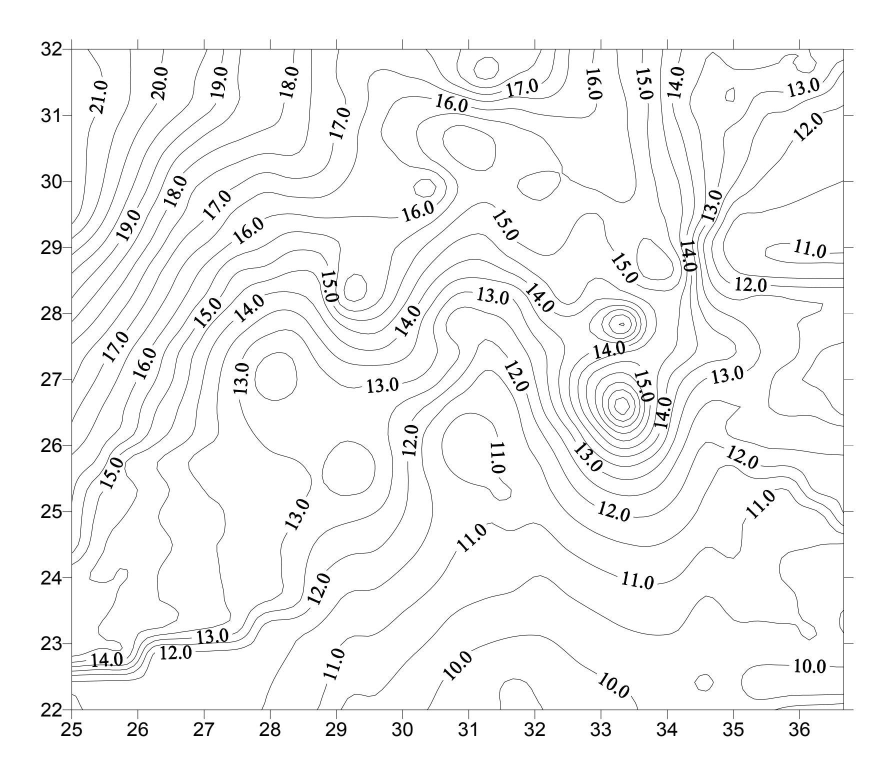
[3] Dawod, G., 1998, A National Gravity Standardization Network for Egypt, Ph.D. thesis, Shoubra Faculty of Engineering, Zagazig University, Cairo, Egypt.

[4] Saad, A., and Dawod, G., 2002, A Precise Integrated GPS/Gravity Geoid Model for Egypt, Civil Engineering Research Magazine (CERM), Al-Azhar University, V.24, No. 1, Jun, pp.391-405.




**شكل ٨-٢**

**الشبكة القومية المصرية للجاذبية الأرضية لعام ١٩٩٧**



**شكل ٨-٣**

**نموذج الجيويد المصري SRI2002B**

## ٨-٢-٢ نمذجة الجيويد من أرصاد الجي بي أس و الميزانيات:

يعد هذا الأسلوب (يسمي الطريقة الهندسية) هو الأمثل للمساحة بالجي بي أس وخاصة للمناطق الصغيرة (منطقة تغطي مساحة من ١٠ إلي ٢٠ كيلومتر مربع). يتم تنفيذ قياسات جي بي أس عند مجموعة من النقاط المعلوم منسوبها (نقاط روبيرات أو BM) ، وبالتالي يمكن حساب قيمة حيود الجيويد عند هذه النقاط باستخدام المعادلة (٨-١). في أبسط الصور فيمكن باستخدام نقطة واحدة فقط معرفة الفرق بين سطحي الاليبسويد و الجيويد ، إلا أن رصد جي بي أس عند ٣ روبيرات يعد وضعا أفضل بالتأكيد. وجود ٣ نقاط معلوم لهم كلا من h و H سيمكننا من حساب ٣ معاملات ( الميل tilt في اتجاه الشمال ، الميل في اتجاه الشرق ، الفرق المتوسط) لوصف الفروق بين كلا السطحين. أي أن الجيويد يتم تمثيله من خلال سطح أو مستوي مائل tilted plane . وبعد ذلك يمكن استخدام هذا النموذج أو هذا المستوي لكي نحول ارتفاع الجي بي أس لأي نقطة جديدة مرصودة إلي منسوبها. وبالطبع يمكن استخدام أكثر من ٣ نقاط (معلوم عندها h و H) وذلك للحصول علي مصداقية أكثر more reliability لنتائج المستوي المائل حيث أن استخدم ٣ نقاط معلومة فقط يعطي ٣ معادلات مطلوب حلهم في ٣ قيم مجهولة أي – رياضيا و إحصائيا - لا يوجد أي تحقيق check للنتائج ، بينما استخدام أكثر من ٣ نقاط سيعطي عدد معادلات أكبر من عدد المجاهيل مما سينتج عنه وجود تحقيق ومؤشرات إحصائية لجودة النتائج المحسوبة. أيضا يمكن استخدام نماذج رياضية أكثر دقة (من نموذج السطح المائل) مثل دالة ذات الحدود polynomials بفرض وجود عدد أكبر من النقاط المعلومة (معلوم لها h و H). كمثال: تم تطبيق هذا الأسلوب في منطقة صغيرة في وادي النيل بمصر للحصول علي سطح هندسي ممثل بالمعادلة:

$$N = 13.825 + 0.00003105\, E + 0.00000297\, N \qquad (8\text{-}4)$$

حيث E, N يمثلان الاحداثي الشرقي و الشمالي – بالمتر - في نظام الإحداثيات المصري ETM. ووجد أن الدقة في حساب قيمة حيود الجيويد بهذا الأسلوب تساوي ± ٢.٩ سنتيمتر لمسافة تبلغ حوالي ٨ كيلومترات أي بمعدل ٤ مللي/كم (مناسبة للتطبيقات متوسطة الدقة) ، لكنها تزيد إلي ± ١٢.٦ سنتيمتر لمسافة تبلغ حوالي ١٢ كيلومترات أي بمعدل ٨ مللي/كم (مناسبة لتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية والخرائط صغيرة المقياس) [5].

لكن هذه الطريقة الهندسية لها أيضا بعض العيوب مثل [6]:

- النموذج الرياضي المستنبط يصلح فقط للمنطقة المحصورة بالنقاط المعلومة (محاولة استنباط extrapolation قيمة N خارج المنطقة لن تكون جيدة علي الإطلاق).
- نموذج المستوي المائل – نموذج بسيط رياضيا – ويصلح فقط لمناطق صغيرة (شكل وتغير الجيويد أكثر تعقيدا من محاولة وصفه بسطح مائل).
- عمليا قد يكون من الصعب إيجاد نقاط معلومة المنسوب (روبيرات أو BM) في المنطقة المطلوب العمل فيها.

[5] Dawod, G., 2003c, Productive GPS topographic mapping for national development projects in Egypt, Proceedings of the First International Conference on Civil Engineering, Assiut University, Volume 2, pp. 246-253, October 7-8.

[6] داود ، جمعة محمد ، ٢٠٠٩ب ، الجيويد و الجي بي أس: مقال مترجم ، منتدى الهندسة المساحية في الرابط: http://surveying.ahlamontada.com/montada-f1/topic-t573.htm

**٨-٣ نماذج الجيويد العالمية:**

تعد طرق التمثيل المتناسق لمجال جهد الأرض Spherical harmonic representation of the Earth's geopotential field من الطرق المستخدمة في نمذجة الجيويد علي المستوي العالمي باستخدام أرصاد مختلفة النوع Heterogeneous Data. تقوم الجهات العلمية المتخصصة بتجميع القياسات الجيوديسية (جاذبية أرضية ، جي بي أس ، أرصاد فلكية .. الخ) من كل مناطق العالم وإدخالها في برامج كمبيوتر متخصصة لتطوير نماذج عالمية تصف تغير الجيويد عالميا Global Geoid Models أو اختصارا GGM. المعادلة التالية تصف طريقة حساب حيود الجيويد باستخدام طريقة التمثيل المتناسق لمجال جهد الأرض:[٧]

$$N = \left(\frac{GM}{r\gamma}\right) \times \sum_{n=2}^{360} \left(\frac{a}{r}\right)^n - \sum_{m=0}^{n} \left( (\bar{C}_{nm} \times \cos m\lambda) + (\bar{S}_{nm} \times \sin m\lambda) \right) \times \bar{P}_{nm}(\sin\phi) \qquad (8\text{-}5)$$

حيث:

n, m أقصي درجة للنموذج العالمي.

$\gamma$ الجاذبية النظرية علي الاليبسويد.

r المسافة الهندسية المركزية للنقطة علي الاليبسويد.

G معامل نيوتن للجاذبية الأرضية.

M كتلة الأرض.

a نصف المحور الأكبر للالبسويد.

$\lambda$ خط الطول الجيوديسي.

$\bar{C}_{nm}$ , $\bar{S}_{nm}$ معاملات التمثيل المتناسق.

$P_{nm}$ دالة لاجندر.

بدأ تطوير نماذج الجيويد العالمية منذ عام ١٩٦٠ وإنتاجها مستمر حتى الآن ، ويمكن الحصول مجانا علي أي نموذج جيويد عالمي من موقع المركز الدولي لنماذج الجاذبية الأرضية العالمية International Center of Gravity Earth Models أو اختصارا ICGFM في الرابط: http://icgem.gfz-potsdam.de/ICGEM/modelstab.html. لكن نظرا لعدم توافر عدد ضخم من القياسات الجيوديسية تغطي كل أنحاء الأرض بانتظام فلم يكن ممكنا تطوير نماذج عالمية ذات تباين أفقي resolution كبير ، فمعظم النماذج حتى عام ٢٠٠٨ لم تزيد درجة تمثيلها degree عن ٣٦٠ بما يدل علي أن النموذج يعطي نقطة كل °١ أو تقريبا ١٠٠ كيلومتر أفقيا علي سطح الأرض. وهذا بالطبع أدي إلي أن دقة نماذج الجيويد العالمية لم تصل لدقة كبيرة ، وكمثال يعرض الجدول (٨-١) تقديرات الدقة لبعض نماذج الجيويد العالمية[٨].

---

[7] Heiskanean, W. and Moritz, H., 1967, Physical geodesy, W. H. Freeman and Company, San Francisco, USA.

[8] International Center of Gravity Earth Models (ICGFM), 2009, http://icgem.gfz-potsdam.de/ICGEM/modelstab.html, accessed October 22.

**جدول ٨-١**
**دقة بعض نماذج الجيويد العالمية**
(RMS لفرق حيود الجيويد – بالمتر - عند نقاط جيوديسية معلومة)

| النموذج | تاريخ تطويره | الدقة في أستراليا | الدقة في أوروبا | الدقة في كندا | الدقة في أمريكا |
|---|---|---|---|---|---|
| EIGEN-GL04C | ٢٠٠٦ | 0.262 | 0.332 | 0.261 | 0.363 |
| EIGEN-CG01C | ٢٠٠٤ | 0.281 | 0.412 | 0.277 | 0.374 |
| EIGEN-CG03C | ٢٠٠٥ | 0.277 | 0.397 | 0.311 | 0.367 |
| EGM96 | ١٩٩٦ | 0.314 | 0.487 | 0.366 | 0.402 |
| GGM02C | ٢٠٠٤ | 0.390 | 0.492 | 0.381 | 0.491 |
| EIGEN-3P | ٢٠٠٣ | 0.856 | 1.333 | 0.862 | 0.830 |
| EIGEN-2 | ٢٠٠٣ | 1.072 | 1.620 | 1.082 | 0.971 |

من الجدول السابق نستنتج أن هذه النماذج العالمية ليست دقيقة بالدرجة الكافية لمتطلبات المساحة و الجيوديسيا ، لكن وعلي الجاني الآخر فأن أي محاولة لنمذجة جيويد محلي لدولة معينة يجب أن تعتمد علي اختيار أحد هذه النماذج العالمية لإمدادها بقيم الجاذبية الأرضية علي المستوي العالمي. أي أن أفضل طرق نمذجة الجيويد لمناطق كبيرة (دولة مثلا) يتمثل في الدمج أو التكامل بين نموذج جيويد عالمي مع قياسات جيوديسية محلية (جاذبية أرضية و جي بي أس و ميزانيات) في هذه الدولة. كمثال: تم اختيار أداء نماذج الجيويد العالمية الحديثة بناءا علي قياسات محلية في مصر وكانت النتائج – كما في الجدول (٨-٢) – أن النموذج EIGEN-CG01C هو الأفضل حيث أعطي أقل قيمة للخطأ التربيعي المتوسط و تبلغ ٠.٣٦ متر [9] .

**جدول ٨-٢**
**نتائج تقييم نماذج الجيويد العالمية في مصر**
(فرق حيود الجيويد – بالمتر - عند نقاط جيوديسية معلومة)

| النموذج | الخطأ التربيعي المتوسط RMS | متوسط الفروق | أكبر فرق | أقل فرق |
|---|---|---|---|---|
| EIGEN-CG01C | 0.36 | -0.07 | 2.05 | -0.98 |
| GGM02C | 0.44 | -0.25 | 1.87 | -1.24 |
| GGM02C/EGM96 | 0.54 | -0.28 | 2.32 | -1.61 |
| EIGEN-CG03C | 0.36 | -0.43 | 1.79 | -1.38 |
| EIGEN-GL04C | 0.38 | -0.57 | 1.73 | -1.62 |
| EGM96 | 0.39 | -0.74 | 1.41 | -1.60 |
| EIGEN-3P | 1.04 | -0.92 | 3.10 | -3.63 |
| EIGEN-2 | 1.30 | -2.71 | 4.79 | -4.12 |

[9] Dawod, G., 2008, Towards the redefinition of the Egyptian geoid: Performance analysis of recent global geoid models and digital terrain models, Journal of Spatial Science, V. 53, No. 1, pp. 31-42.

تجدر الإشارة إلي أن معظم برامج حسابات أرصاد الجي بي أس تعتمد في داخلها علي أحد نماذج الجيويد العالمية (والأشهر منهم هو نموذج EGM96) بحيث أن البرنامج يستطيع حساب منسوب نقاط الجي بي أس المرصودة. لكن من المهم جدا علي مستخدم الجي بي أس أن يعرف دقة هذا النموذج العالمي وبالتالي دقة هذا المنسوب المحسوب. فكما نري في الجدول السابق أن دقة النموذج العالمي EGM96 في مصر تبلغ ٠.٣٩ متر ، أي أن المنسوب أو الارتفاع الارثومتري المحسوب من هذا النموذج لن يكون أدق من هذا المستوي. لذلك لا يمكن الاعتماد علي نماذج الجيويد العالمية بمفردها في التطبيقات المساحية و الجيوديسية إنما يتم تطعيمها بقياسات محلية لزيادة دقتها في منطقة العمل.

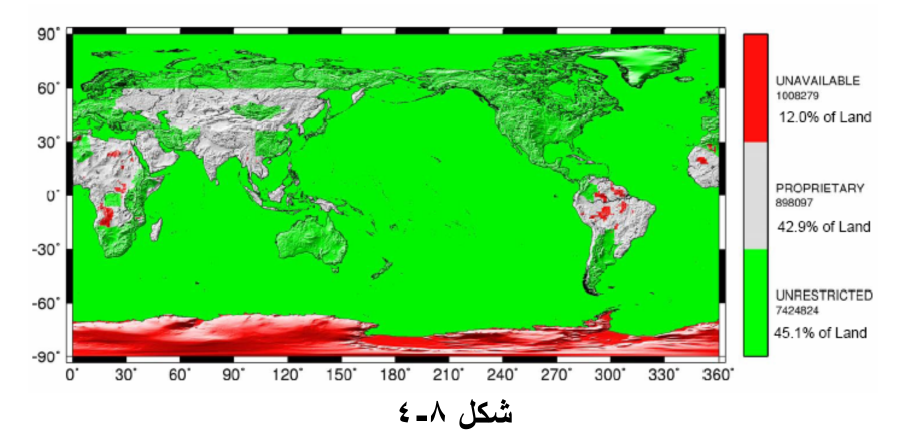
### ٨-٤ نموذج الجيويد العالمي ٢٠٠٨:

في أبريل ٢٠٠٨ أطلقت هيئة المساحة العسكرية الأمريكية نموذج الجيويد العالمي EGM2008 وأتاحته للجميع مجانا علي شبكة الانترنت. يعد هذا النموذج ثورة علمية في مجال نماذج الجيويد العالمية ، حيث أن درجة النمذجة degree قد بلغت ٢١٦٠ مقارنة بدرجة تساوي ٣٦٠ لجميع نماذج الجيويد العالمية السابقة له. ترجع هذه الدرجة العالية في تمثيل حيود الجيويد إلي قاعدة البيانات الجيوديسية (وخاصة قياسات شذوذ الجاذبية) الضخمة التي استخدمت في تطوير نموذج EGM2008 والتي غطت تقريبا كل سطح الأرض سواء اليابسة أو البحار مما لم يتوافر لأي جهة عالمية قبل ذلك (شكل ٨-٤). تدل هذه الدرجة العالية في النمذجة أن التباين الأفقي resolution للنموذج (المسافة بين كل نقطتين يمكن للنموذج حساب قيمة حيود الجيويد عندهما) يبلغ '١٠ أي ما يعادل ١٨ كيلومتر فقط مقارنة بتباين يساوي حوالي ١٠٠ كيلومتر للنماذج السابقة. نموذج الجيويد العالمي ٢٠٠٨ EGM2008 متاح للجميع علي الانترنت في الرابط:

http://earth-info.nima.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008

كما يوجد وصف تفصيلي لطرق تطويره والبيانات المستخدمة في الرابط:

http://earth-info.nima.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/NPavlis&al_EGU2008.ppt




**شكل ٨-٤**

**شذوذ الجاذبية المستخدمة لتطوير نموذج الجيويد العالمي ٢٠٠٨** [١٠]

[10] Pavlis, N., Holmes, S., Kenyon, S., and Factor, J. ,2008, An earth gravitational model to degree 2160: EGM2008, The European Geosciences Union (EGU) general Assembly, Vienna, Austria.

توجد ٣ طرق لاستخدام نموذج EGM2008 كما هو معروض في الجدول (٨-٣)[11]:

أ- حساب قيمة حيود الجيويد نقطة بنقطة باستخدام المعاملات الأصلية harmonic coefficients للنموذج.
ب- استنباط interpolation قيمة حيود الجيويد من شبكة grid للقيم لكل العالم ، وتوجد شبكتين متاحتين الأولي بتباين أفقي ١'×١' (حجم الملف ٨٢٥ ميجابايت) والثانية بتباين أفقي ٢.٥'×٢.٥' (حجم الملف ١٣٥ ميجابايت).
ت- باستخدام شبكة grid لقيم حيود الجيويد ، والشبكة بصيغة ESRI Grid للتعامل معها مباشرة داخل برنامج Arc GIS وهو أحد برامج نظم المعلومات الجغرافية من إنتاج شركة ESRI الأمريكية. في فبراير ٢٠٠٩ تم إتاحة ملف شبكة من هذا النوع لمنطقة الشرق الأوسط فقط (شكل ٨-٥) ، وفي مايو ٢٠٠٩ تم إتاحة شبكات أخري تغطي باقي أنحاء العالم.

من المهم ملاحظة أن حساب حيود الجيويد من نموذج EGM2008 يشمل أيضا – في نفس الخطوة – إضافة تصحيح الفرق بين الجيويد و شبيه الجيويد ، لان نماذج الجيويد التي تعتمد علي طريقة التمثيل المتناسق لمجال جهد الجاذبية الأرضية spherical harmonic تنتج سطح قريب جدا من سطح الجيويد يسمي شبيه الجيويد co-geoid or quasi-geoid ، و لا بد من إضافة تصحيح لهذا السطح حتى يتم تحويله إلي شكل الجيويد الحقيقي ، وهي عملية هامة يجب مراعاتها [12 و 13].

**جدول ٨-٣**

**طرق الحصول علي نموذج الجيويد العالمي EGM2008**

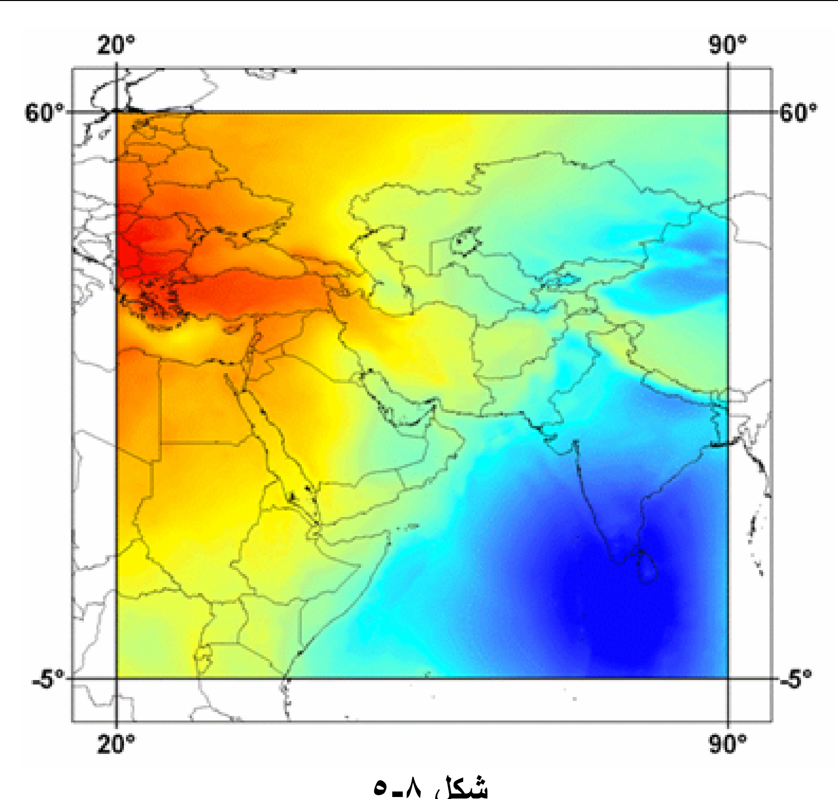
| الملف | الوظيفة | الرابط |
|---|---|---|
| طريقة حساب قيمة حيود الجيويد نقطة بنقطة باستخدام المعاملات الأصلية: | | |
| hsynth_WGS84.exe | برنامج الحسابات التنفيذي | http://earth-info.nima.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/hsynth_WGS84.exe |
| EGM2008_to2190_TideFree.gz | ملف معاملات النموذج ( حجمه ٧٢ ميجابايت) | http://earth-info.nima.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/EGM2008_to2190_TideFree.gz |
| Zeta-to- | ملف تصحيح | http://earth- |

[11] Dawod, G., Mohamed, W., 2009, Data management of different height systems within GPS/GIS integrated spatial technology, Accepted for presentation in the Middle East Spatial Technology Conference (MEST2009), December 7-9, Kingdom of Bahrain.

[12] Dawod, G., and Mohamed, H., 2009, Fitting gravimetric local and global quasi-geoids to GPS/levelling data: The role of geoid/quasi-geoid variations in Egypt, King Abdel-Aziz University's Journal of Engineering Sciences, V. 20, No. 1, pp. 47-59.

[13] Flury, J. and Rummed, R., 2009, On the geoid-quasigeoid separation in mountain areas, Journal of Geodesy, V. 83, pp. 829-847.

| | | |
|---|---|---|
| N_to2160_egm2008.gz | النموذج (حجمه ٥٠ ميجابايات) | info.nima.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/Zeta-to-N_to2160_egm2008.gz |
| Input.dat | ملف إدخال بيانات أو إحداثيات النقاط المطلوب الحساب عندها | http://earth-info.nima.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/INPUT.DAT |
| Output.dat | ملف النتائج | http://earth-info.nima.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/OUTPUT1.DAT |
| طريقة استنباط قيمة حيود الجيويد من شبكة: | | |
| interp_1min.exe | الملف التنفيذي لحسابات الاستنباط من شبكة '١ | http://earth-info.nima.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/interp_1min.exe |
| Und_min1x1_egm2008_isw=82_WGS84_TideFree_SE.gz | شبكة '١ لقيم حيود الجيويد للعالم (حجم الملف ٨٢٥ ميجابايت) | http://earth-info.nima.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/Small_Endian/Und_min1x1_egm2008_isw=82_WGS84_TideFree_SE.gz |
| interp_2p5min.exe | الملف التنفيذي لحسابات الاستنباط من شبكة '٢.٥ | http://earth-info.nima.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/interp_2p5min.exe |
| Und_min2.5x2.5_egm2008_isw=82_WGS84_TideFree_SE.gz | شبكة '٢.٥ لقيم حيود الجيويد للعالم (حجم الملف ١٣٥ ميجابايت) | http://earth-info.nima.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/Small_Endian/Und_min2.5x2.5_egm2008_isw=82_WGS84_TideFree_SE.gz |
| طريقة الشبكة بصيغة ESRI Grid للتعامل معها مباشرة داخل برنامج Arc GIS: | | |
| egm08_centcom_geoid.zip | ملف الشبكة بحجم ٨ ميجابايت وهي لمنطقة الشرق الأوسط والتي تم إعلانها في فبراير ٢٠٠٩ (أيضا تم إعلان شبكات تغطي باقي أنحاء العالم في مايو ٢٠٠٩). | http://earth-info.nima.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/GIS/egm08_centcom_geoid.zip |




**شكل ٨-٥**

**حيود الجيويد في منطقة الشرق الأوسط من النموذج العالمي EGM2008**

الطريقة الأولي هي الأنسب للتطبيقات المساحية و الجيوديسية ذات الدقة العالية ، كما أنها مناسبة للدمج في أي برنامج حسابي آخر حيث أن الملف الأصلي للحسابات (بلغة FORTRAN متاح أيضا). أما الطريقة الثانية فهي مناسبة للتطبيقات متوسطة الدقة وتتميز بسرعة تنفيذها بالمقارنة بالطريقة الأولي. أما الطريقة الثالثة فأهم ميزة بها أنها تسمح بعملية تحديد قيمة حيود الجيويد - و من ثم تحويل الارتفاع الجيوديسي إلي منسوب - داخل برنامج نظم المعلومات الجغرافية Arc GIS والذي يعد أشهر برامج هذه التقنية [١٤].

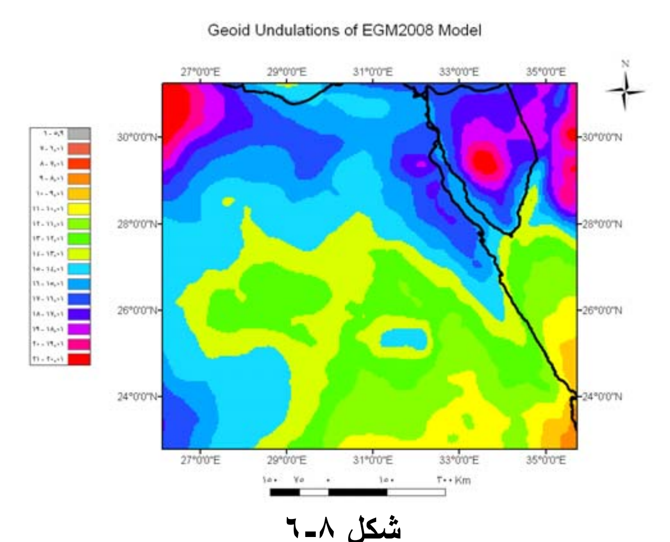
بمقارنة قيمة حيود الجيويد الناتجة من النموذج EGM2008 مع حيود الجيويد عند ٨٤٨٦ من النقاط المعلومة حول العالم تم تقدير دقة النموذج (الخطأ التربيعي المتوسط RMS) بحوالي ٠.٢٢ متر ، وهي قيمة تقل بمقدار ٠.١٠ متر عن دقة أفضل نماذج الجيويد العالمية الأخرى [١٥]. في مصر (شكل ٨-٦) تم اختبار نموذج EGM2008 علي ٣٠٥ نقطة معلومة حيود الجيويد (نقاط جي بي أس معلوم لها المنسوب) ووجد أن دقة حيود الجيويد الناتجة من النموذج تتراوح بين -٠.٧٦ م و +٠.٤١ م بمتوسط -٠.٢٣ م وانحراف معياري ± ٠.٢٣ م [١٦]. كما

[14] Dawod, G., Mohamed, W., 2009, Data management of different height systems within GPS/GIS integrated spatial technology, Accepted for presentation in the Middle East Spatial Technology Conference (MEST2009), December 7-9, Kingdom of Bahrain.

[15] [15] International Center of Gravity Earth Models (ICGFM), 2009, http://icgem.gfz-potsdam.de/ICGEM/modelstab.html, accessed October 22.

[16] Dawod, G., Mohamed, H., and Ismail, S., 2010, Evaluation and adaptation of the EGM2008 geopotential model along the northern Nile valley,

أفادت دراسة أخري بإمكانية و دقة استخدام نموذج EGM2008 في حساب المستوي الرأسي للخرائط الهيدروجرافية للمناطق الساحلية في شمال الدلتا بمصر [١٧].




**شكل ٨-٦**

**حيود الجيويد في مصر من النموذج العالمي ٢٠٠٨**

## ٨-٥ نمذجة الجيويد في مشروعات الجي بي أس:

إن نمذجة الجيويد (استنباط نموذج جيويد) مناسب لتطبيقات نظام الجي بي أس هي عملية من الممكن أن تتم من خلال عدة وسائل أو طرق تعتمد في المقام الأول علي الهدف من المشروع و مستوي الدقة المنشود. من خلال ما قد تم استعراضه – في هذا الفصل – يمكن تحديد أربعة طرق لنمذجة الجيويد:

أ- تطوير نموذج جيويد محلي لمنطقة الدراسة.
ب- نمذجة جيويد لمنطقة صغيرة من خلال قياسات جي بي أس و أرصاد ميزانية.
ت- استخدام نموذج جيويد عالمي.
ث- التكامل بين نموذج جيويد عالمي و قياسات جيوديسية محلية.

الطريقة الأولي هي الأنسب لمساحات كبيرة من الأرض (إقليم أو دولة مثلا) و تتطلب توافر قاعدة بيانات جيوديسية (قياسات جاذبية أرضية و أجي بي أس و ميزانيات) مع خبرة في طرق و برامج حسابات الجيويد. وبالتالي فهذه مهمة الجهات الحكومية و الباحثين الأكاديميين المتخصصين في الهندسة المساحية و الجيوديسية.

الطريقة الثانية ربما تكون هي الأنسب و الأسهل أيضا لمشروعات الجي بي أس لمناطق صغيرة المساحة (عدة كيلومترات). في هذه الطريقة يتم رصد جي بي أس لعدد لا يقل عن

Egypt: Case study, ASCE Journal of Surveying Engineering, Accepted and scheduled for publication in February 2010 issue.

[17] Rabah, M., 2009, Enhancement the feasibility of using RTK tides in the Northern coast of Egypt based on performing undulation model corrections derived from the Earth Geopotential Model EGM2008, CERM magazine, V. 31, No. 3, July, pp. 794-808.

ثلاثة من النقاط المعلومة المنسوب (روبيرات أو BM). باستخدام المعادلة ٨-١ يمكن حساب قيمة حيود الجيويد N عند هذه النقاط المعلوم عندها الارتفاع الجيوديسي h الناتج من أرصاد الجي بي أس والارتفاع الأرثومتري H الناتج من أرصاد الميزانيات. ثم يمكن استخدام أي برنامج (مثل الإكسل مثلا) لاستنباط نموذج سطح مائل (المعادلة ٨-٤) يصف تغير سطح الجيويد في هذه المنطقة الصغيرة ، والذي من خلاله يمكن حساب قيمة حيود الجيويد N عند أي نقطة جي بي أس – داخل المنطقة التي تغطيها النقاط المعلومة - وتحويل ارتفاعها الجيوديسي إلي منسوب.

الطريقة الثالثة تعتمد علي استخدام أي نموذج جيويد عالمي متاح و علي الأخص أحدث و أدق هذه النماذج وهو EGM2008 بأي طريقة من الطرق الثلاثة المتاحة (أرجع للجدول ٨-٣). علي الجانب الآخر فأن دقة النماذج العالمية ليست عالية وكمثال – كما سبق الذكر – فدقة نموذج EGM2008 تبلغ ± ٠.٢٢ متر في المتوسط عالميا (أي أن الخطأ المتوسط المتوقع هو ربع المتر وان كان متوقعا أن تزيد قيمة الخطأ عن هذه القيمة في بعض النقاط). يعتمد استخدام هذه الطريقة للنماذج العالمية سيكون لتطبيقات أو مشروعات لا تحتاج دقة عالية في حساب المناسيب مثل تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية أو الخرائط ذات مقياس الرسم الصغير.

الطريقة الرابعة هي الأفضل للتطبيقات المساحية و الجيوديسية الدقيقة حيث أن تطعيم نماذج الجيويد العالمية بأرصاد جيوديسية محلية يزيد من دقة هذه النماذج ويجعلها بديلا اقتصاديا مناسبا يوفر كثيرا من تكلفة تطوير نموذج جيويد وطني. تتشابه هذه الطريقة مع الطريقة الأولي في كيفية تنفيذها لكن مع بعض الاختلافات البسيطة. يتطلب هذا الأسلوب معرفة قيمة حيود الجيويد عند عدد من نقاط التحكم (نقاط جي بي أس معلومة المنسوب أو نقاط جاذبية أرضية) ويكون عدد و توزيع هذه النقاط مناسبا لمساحة المنطقة المطلوبة. ثم يتم حساب قيمة حيود الجيويد من النموذج العالمي – EGM2008 مثلا – عند هذه النقاط المعلومة و من ثم يمكن تحديد قيمة خطأ النموذج عند كل نقطة:

$$dN = N_{obs} - N_{EGM2008} \qquad (8\text{-}6)$$

حيث:

dN فرق حيود الجيويد

$N_{obs}$ حيود الجيويد المقاس أو المعلوم

$N_{EGM2008}$ حيود الجيويد من نموذج EGM2008

ثم يتم استنباط معادلة ذات حدود polynomial لوصف توزيع هذه الفروق علي امتداد المنطقة الجغرافية التي تغطيها النقاط المعلومة. كمثال فأن معادلة ذات الحدود من الدرجة الأولي لمنطقة شمال وادي النيل في مصر كانت [١٨] :

$$dN = -5.529490551 - 0.05161249\ \varphi + 0.219581806\ \lambda \qquad (8\text{-}7)$$

[18] Dawod, G., Mohamed, H., and Ismail, S., 2010, Evaluation and adaptation of the EGM2008 geopotential model along the northern Nile valley, Egypt: Case study, ASCE Journal of Surveying Engineering, Accepted and scheduled for publication in February 2010 issue.

ويتم حساب القيمة النهائية لحيود الجيويد $N_{FINAL}$ عند أي نقطة جي بي أس – داخل المنطقة التي تغطيها النقاط المعلومة - وتحويل ارتفاعها الجيوديسي إلي منسوب من خلال استنباط interpolation قيمة الفرق dN وإضافته إلي قيمة حيود الجيويد $N_{EGM2008}$ الناتج من النموذج العالمي:

$$N_{FINAL} = N_{EGM2008} + dN \tag{8-8}$$

هذه الطريقة تزيد من دقة النموذج العالمي بعد أن يتم تطعيمه بقياسات محلية تجعله أكثر توافقا مع سطح الجيويد المحلي الحقيقي في منطقة الدراسة. وكلما زاد عدد النقاط المعلومة وكان توزيعها متماثلا علي المنطقة المطلوبة كلما كانت النتائج أفضل ، مما يجعل هذا الأسلوب هو أفضل الطرق المتاحة في مجال نمذجة الجيويد و تحويل ارتفاعات تقنية الجي بي أس إلي المناسيب المستخدمة في تطبيقات المساحة و الخرائط.

# الفصل التاسع
# خدمات الجي بي أس على الانترنت

## ٩-١ مقدمة:

مع انتشار تطبيقات تحديد المواقع بالأقمار الصناعية في العقدين الأخيرين تم تطوير عدد من المواقع علي شبكة الانترنت لخدمة مستخدمي هذه التقنيات وخاصة للتطبيقات الهندسية والعلمية. إن شبكة المعلومات الدولية مليئة بخدمات مذهلة – تطبيقية و تعليمية – لا غني عنها لمستخدمي نظام الجي بي أس علي وجه الخصوص ، بل أن بعض هذه الخدمات المجانية قد تقلل من التكلفة الاقتصادية للمشروعات المساحية. أيضا المنتجات التقنية المتاحة مجانا علي الانترنت قد ترفع مستوي دقة قياسات تحديد المواقع بالجي بي إس بصورة مؤثرة. كما أن بعض هذه الخدمات يقوم بإجراء الحسابات الدقيقة لتحديد المواقع مجانا ، والبعض الآخر يقدم برامج حاسوبية software مجانية لتطبيقات الجي بي إس. لا يمكن حصر جميع خدمات الجي بي إس علي الانترنت لكننا سنستعرض في هذا الفصل بعضا منها.

## ٩-٢ المنظمة العالمية لخدمات النظم الملاحية بالأقمار الصناعية IGS

تعد المنظمة العالمية لخدمات النظم الملاحية بالأقمار الصناعية International GNSS Service والمعروفة اختصارا باسم IGS من أشهر و أفيد خدمات الجي بي إس علي شبكة الانترنت. كان الاسم القديم للمنظمة هو المنظمة العالمية لخدمات الجي بي إس إلا أنها ومع امتداد خدماتها لتشمل نظام الجلوناس الروسي فقد تغير أسمها للاسم الحالي ، كما أنها تنوي أيضا تقديم خدمات مماثلة للنظام الأوروبي جاليليو عند اكتماله و بدء العمل به. موقع المنظمة في الرابط: http://igscb.jpl.nasa.gov/

إن منظمة IGS هي تجمع تطوعي مكون من حوالي ٢٠٠ جهة تخصصية علي المستوي العالمي تتيح قياسات الجي بي إس و الجلوناس لخدمة المجتمع الدولي مجانا بغرض دراسة الأرض بصورة دقيقة. تعد خدمات IGS جزءا من خدمات المنظمة الدولية للجيوديسيا International Association of Geodesy. كما يتم تقديم خدمات الحسابات الدقيقة من خلال عدد من مراكز الحسابات Data Centers تقدمها الجهات العالمية المتخصصة مثل وكالة الفضاء الأمريكية NASA وهيئة المساحة الفرنسية IGN. يمكن اعتبار منظمة IGS كأدق تجمع مدني – وليس عسكري - لمستخدمي تحديد المواقع بالأقمار الصناعية علي المستوي العالمي.

تشمل خدمات IGS الآتي[١]:

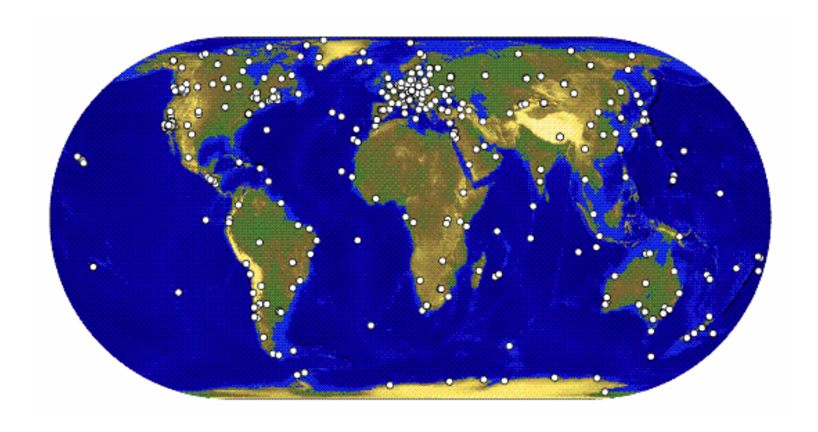
١. أرصاد محطات أرضية لكلا من الجي بي إس و الجلوناس.
٢. تصحيح مدارات الأقمار الصناعية للجي بي إس.
٣. تصحيح مدارات الأقمار الصناعية لجلوناس.
٤. تصحيح أخطاء ساعة القمر الصناعي للجي بي إس .

[1] International GNSS Service, 2009a, IGS Products, Website: http://igscb.jpl.nasa.gov/components/compindex.html, accessed Sept.

٥. تصحيح أخطاء ساعة جهاز استقبال الجي بي إس عند كل محطة من المحطات الأرضية لشبكة IGS .
٦. الإحداثيات الدقيقة لكل محطة من المحطات الأرضية لشبكة IGS .
٧. سرعة تحرك القشرة الأرضية عند كل محطة من المحطات الأرضية لشبكة IGS .
٨. عناصر دوران الأرض حول محورها Earth Rotation Parameters.
٩. عناصر تصحيح أخطاء الغلاف الجوي Atmospheric Parameters لكلا طبقتي الايونوسفير و التروبوسفير.

### ٩-٢-١ أرصاد المحطات الأرضية لمنظمة IGS:

تعد شبكة المحطات الأرضية من أهم منتجات منظمة IGS في مجال التطبيقات المساحية لنظام الجي بي إس. تتكون الشبكة من ٣٥٩ محطة (حتي سبتمبر ٢٠٠٩) موزعين علي جميع أنحاء العالم (شكل ٩-١). تم إنشاء هذه المحطات بشروط تقنية عالية بحيث تضمن أعلي دقة ممكنة في تجميع إشارات الأقمار الصناعية ٢٤ ساعة يوميا وإتاحتها علي الانترنت بصورة يومية لجميع المستخدمين مجانا. يتم إرسال أرصاد كل المحطات إلي مراكز التشغيل Processing Centers المتعاونة مع الهيئة لتحليل كل هذه القياسات من خلال برامج Scientific Processing Software عالية الدقة و الكفاءة تعمل علي أجهزة سوبر كمبيوترات ذات مواصفات تقنية عالية. ويتم التواصل و التعاون بين جميع مراكز التشغيل للتأكد من نتائج كل مركز مع المراكز الأخرى حتي يمكن التوصل إلي دقة عاليه للمنتجات عالية الذكر قبل نشرها لجميع المستخدمين مجانا علي موقع الهيئة علي الانترنت. يمكن الحصول علي قائمة بجميع محطات IGS من الرابط: http://igscb.jpl.nasa.gov/network/netindex.html.
يعرض الجدول (٨-١) بيانات بعض هذه المحطات في منطقة الشرق الأوسط و جنوب أوروبا وهي المحطات التي غالبا يعتمد عليها مستخدمي الجي بي إس في المنطقة العربية ، وربما تكون نقطة المنامة بمملكة البحرين هي أقدم هذه المحطات حيث تم إنشاؤها منذ عام ١٩٨٠ كما تم - في السنوات القليلة الماضية - إنشاء نقاط جديدة في كلا من المملكة العربية السعودية و سلطنة عمان و لبنان.



**شكل ٩-١**
**توزيع محطات IGS**

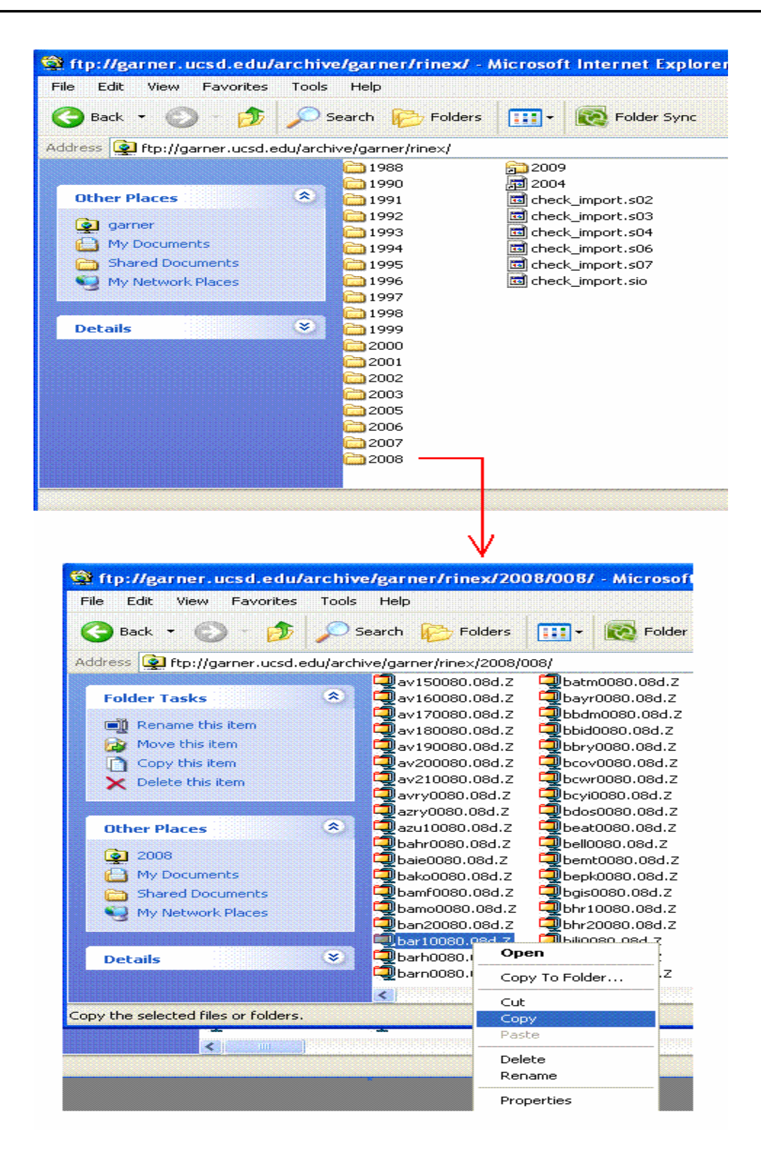
**جدول ٩-١**
**بعض نقاط الشبكة العالمية IGS في الشرق الأوسط**

| اسم النقطة | المدينة – الدولة | تاريخ الإنشاء |
|---|---|---|
| BHR1 | المنامة – البحرين | ١٩٨٠/٥/١٥ |
| MATE | ماتيرا – ايطاليا | ١٩٩٢/٢/١٧ |
| NICO | نيقوسيا – قبرص | ١٩٩٧/٥/١٤ |
| RAMO | رام الله – فلسطين | ١٩٩٨/٦/١٠ |
| AMMN | عمان – الأردن | ١٩٩٩/٦/١٥ |
| DRAG | دراجوت – فلسطين | ٢٠٠٠/٢/٧ |
| HALY | حلة عمار - السعودية | ٢٠٠٢/٣/١٦ |
| LAUG | جبيل – لبنان | ٢٠٠٢/١٠/٢٢ |
| NAMA | ناماس – السعودية | ٢٠٠٢/٣/٣١ |
| YIBL | يبل – عمان | ٢٠٠٣/٧/١١ |

تعود أهمية محطات IGS الأرضية إلي أنها تعمل ٢٤ ساعة يوميا و تتاح أرصادها – في صيغة راينكس – يوميا مجانا ، كما أن إحداثيات كل محطة معلومة بدقة عالية. بذلك يمكن لأي مستخدم جي بي إس أن يعتمد علي أي نقطة IGS كنقطة تحكم يمكنه ربط أرصاده عليها مباشرة. أي أننا نكون قد قللنا عدد أجهزة استقبال الجي بي إس المطلوبة في أي مشروع مما يقلل من زمن و تكلفة تجميع القياسات الحقلية وبالتالي خفض التكلفة الاقتصادية للمشروع[٢]. في بعض المناطق النائية التي لا توجد بها شبكات جيوديسية وطنية – لأي دولة – فأن محطات IGS تكون البديل المناسب المتاح لربط الشبكات الجديدة. كما أن الدقة العالية لإحداثيات محطات IGS تجعلها من أنسب الطرق التقنية في التطبيقات الجيوديسية الدقيقة مثل مراقبة تحركات القشرة الأرضية.

يتم الحصول علي أرصاد (صيغة راينكس) لأي محطة IGS من مراكز البيانات التابعة للمنظمة و منهم مثلا مركز بيانات SOPAC الأمريكي في الرابط: ftp://garner.ucsd.edu/ ، حيث توجد جميع الملفات مرتبة سنويا (شكل ٩-٢) في صفحة: ftp://garner.ucsd.edu/archive/garner/rinex/. وهذه الملفات (بامتداد z) مضغوطة و يمكن إزالة الضغط عنها بأي برنامج (مثل WINZIP) أو الحصول علي أحد هذه البرامج من الرابط: http://www.gzip.org/. أسماء الملفات تأخذ هيئة: ssssdddf.yyd.z حيث: ssss يعبر عن أسم المحطة ، ddd يعبر عن رقم اليوم في السنة ، f يعبر عن رقم ملف الرصد حيث الرقم f = صفر يدل علي أرصاد لمدة ٢٤ ساعة ، yy يعبر عن السنة ، d, z يدلان علي أن الملف مضغوط. كمثال: الملف bhr10120.08d.z هو ملف لمحطة bhr1 (المنامة بالبحرين) لليوم ٠١٢ من سنة ٠٨ (أي ٢٠٠٨) ويحتوي أرصاد المحطة لمدة ٢٤ ساعة.

[2] Dawod, G., 2007, New strategies in the utilization of GPS technology for mapping and GIS activities in Egypt, Civil Engineering Research Magazine (CERM), V. 29, No. 1 (Jan.), pp. 292-310.




**شكل ٩-٢**

**ملفات أرصاد الجي بي إس في IGS**

## ٩-٢-٢ المدارات الدقيقة للأقمار الصناعية:

بعد إيقاف العمل بخطأ الاتاحية المنتقاة SA في عام ٢٠٠٠ فأن خطأ مدار القمر الصناعي أصبح أكثر مصادر الأخطاء تأثيرا علي دقة و جودة تحديد المواقع بنظام الجي بي إس. إن قيمة الخطأ في مدار القمر الصناعي Broadcast Orbits (أي المدار الذي يرسله القمر الصناعي لحظيا داخل إشاراته) يبلغ حوالي ١٦٠ سنتيمتر ، ومن هنا جاءت الحاجة لحساب مدار أكثر دقة لكل قمر صناعي قبل استخدامه في حساب موقع جهاز الاستقبال. تقوم منظمة IGS بحساب و نشر عدة أنواع من مدارات الأقمار الصناعية GPS تختلف في دقتها و أيضا موعد إتاحتها للمستخدمين علي الانترنت[٣]. وفي مجال التطبيقات الهندسية – وخاصة المساحية – التي تتطلب دقة عالية فأننا نعتمد علي أدق نوع من أنواع المدارات و هو المعروف باسم المدار الدقيق أو المدار النهائي Precise or Final Orbits حتي لو انتظرنا أسبوعين – بعد تاريخ

[3] International GNSS Service, 2009b, IGS orbits, website: http://igscb.jpl.nasa.gov/components/prods.html, Accessed Sept.

الرصد الحقلي – للحصول عليه من موقع IGS. إن استخدام المدارات الدقيقة للأقمار الصناعية يحسن بدرجة مؤثرة من مستوي الدقة لأرصاد ونتائج مشروعات الجي بي إس [٤]. والجدول ٩-٢ يقدم مقارنة بين أنواع مدارات الأقمار الصناعية لنظام الجي بي إس التي تتيحها هيئة IGS:

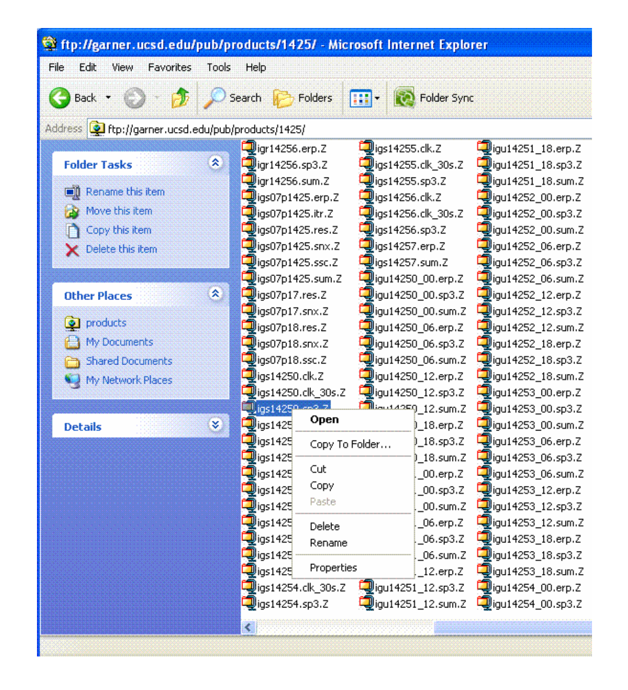
**جدول ٩-٢**

**أنواع و خصائص بيانات مدارات الجي بي إس المتاحة في IGS**

| نوع البيانات | | الدقة | مدي التأخير | معدل التحديث | معدل الأرصاد |
|---|---|---|---|---|---|
| مرسلة من الأقمار الصناعية Broadcast | مدارات الأقمار | ~١٦٠ سم | آنيا | - - | يوميا |
| | خطأ ساعات الأقمار | ~ ٧ نانوثانية | | | |
| السريع جدا المحسوب Ultra rapid predicted | مدارات الأقمار | ~١٠ سم | آنيا | ٤ مرات يوميا | ١٥ دقيقة |
| | خطأ ساعات الأقمار | ~ ٥ نانوثانية | | | |
| السريع جدا المرصود Ultra rapid observed | مدارات الأقمار | أقل من ٥ سم | ٣ ساعات | ٤ مرات يوميا | ١٥ دقيقة |
| | خطأ ساعات الأقمار | ~ ٠.٢ نانوثانية | | | |
| السريع Rapid | مدارات الأقمار | أقل من ٥ سم | ١٧ ساعة | يوميا | ١٥ دقيقة |
| | خطأ ساعات الأقمار | ٠.١ نانوثانية | | | ٥ دقائق |
| النهائي Final | مدارات الأقمار | أقل من ٥ سم | حوالي ١٣ يوم | أسبوعيا | ١٥ دقيقة |
| | خطأ ساعات الأقمار | ٠.١ نانوثانية | | | ٥ دقائق |

هناك عدة طرق وأيضا عدة مواقع للحصول علي ملفات المدارات الدقيقة (وكل منتجات هيئة IGS) للأقمار الصناعية وسنتناول منهم احدي الطرق. يجب ملاحظة أن بعض البرامج التجارية لحسابات الجي بي إس – علي سبيل المثال برامج شركة ليكا و شركة ترمبل - بها إمكانيات التحميل المباشر للملفات من داخل البرنامج ، أي لا تحتاج إتباع الخطوات التالية. بالدخول علي موقع ناسا في الرابط: ftp://igscb.jpl.nasa.gov/pub/product/ ستجد مجموعة كبيرة من المجلدات كل مجلد يحوي ملفات أسبوع معين. بالضغط علي المفتاح الأيمن للماوس ستظهر قائمة يمكن اختيار أمر النسخ لمجلد Copy to Folder أو أمر نسخ Copy لنسخ الملف المطلوب إلي الحاسب الآلي (شكل ٩-٣).

[4] Dawod, G., 2007, New strategies in the utilization of GPS technology for mapping and GIS activities in Egypt, Civil Engineering Research Magazine (CERM), V. 29, No. 1 (Jan.), pp. 292-310.



**شكل ٩-٣**
**مثال للحصول علي المدارات الدقيقة للأقمار الصناعية**

أنواع الملفات المتاحة تتكون من الاختصارات التالية:

- نوع الملف z (لكل الملفات) = ملف مضغوط
- نوع الملف sp3 = مدارات الأقمار الصناعية
- نوع الملف erp = عناصر دوران الأرض earth rotation parameters
- نوع الملف sum = ملف التقرير الملخص summary report
- نوع الملف clk وأيضا cls = ملف ساعة القمر clock
- النوع igu في بداية اسم الملف = نوع المدار هو المدار السريع جدا ultra rapid
- النوع igr في بداية اسم الملف = نوع المدار هو المدار السريع rapid
- النوع igs في بداية اسم الملف = نوع المدار هو المدار الدقيق أو النهائي Precise وهو النوع المطلوب للتطبيقات المساحية.

أما ملفات المدارات الدقيقة sp3 فيكون اسم الملف مكونا كالآتي:

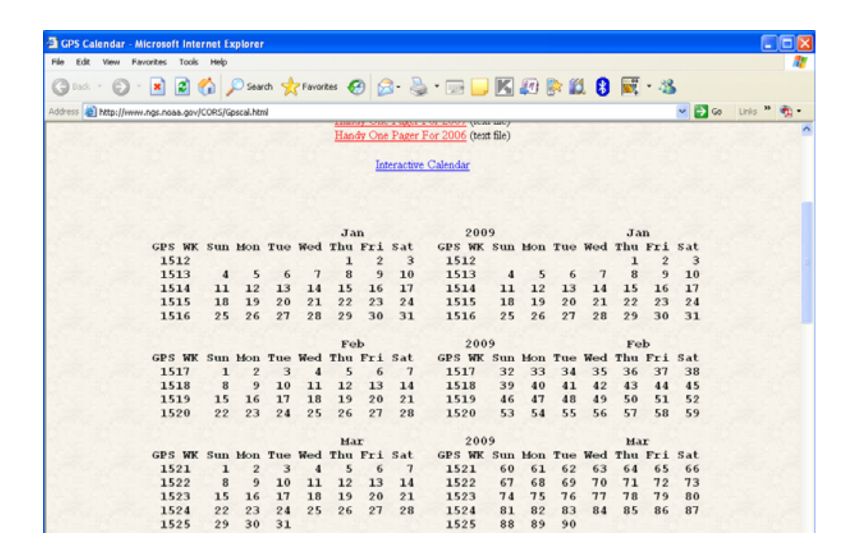
igswwwwd.sp3.z

حيث:

يدل wwww علي رقم الأسبوع لنظام الجي بي إس GPS week ، بينما d يدل علي رقم اليوم في هذا الأسبوع day of week وتتراوح قيمته بين الصفر (ليوم الأحد) و ٦ (ليوم السبت)

رقم أسبوع الجي بي إس هو النظام الذي بدأ مع إطلاق تقنية الجي بي إس لأسماء ملفات النظام. بدأ هذا التقويم أو العداد من يوم ٥ يناير ١٩٨٠ م وهو بداية أسبوع الجي بي إس رقم ١. ويبدأ كل أسبوع من الساعة ١٢ منتصف الليل من نهاية يوم السبت وبداية يوم الأحد. و لمعرفة رقم الأسبوع لتقنية الجي بي إس توجد عدة مواقع منهم موقع "تقويم الجي بي إس" من هيئة المساحة الجيوديسية الأمريكية NGS في الرابط:

http://www.ngs.noaa.gov/CORS/Gpscal.html والـذي يقـدم تقـويم كامـل لعـام ٢٠٠٩م ورقم أسبوع الجي بي إس لكل يوم (شكل ٩-٤).




| Jan | | | | | | | | 2009 | | | | | | | Jan |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| GPS WK | Sun | Mon | Tue | Wed | Thu | Fri | Sat | GPS WK | Sun | Mon | Tue | Wed | Thu | Fri | Sat |
| 1512 | | | | | 1 | 2 | 3 | 1512 | | | | | 1 | 2 | 3 |
| 1513 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 1513 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1514 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 1514 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| 1515 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 1515 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| 1516 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 1516 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 |

| Feb | | | | | | | | 2009 | | | | | | | Feb |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| GPS WK | Sun | Mon | Tue | Wed | Thu | Fri | Sat | GPS WK | Sun | Mon | Tue | Wed | Thu | Fri | Sat |
| 1517 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 1517 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 |
| 1518 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 1518 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 |
| 1519 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 1519 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 |
| 1520 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 1520 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 |

| Mar | | | | | | | | 2009 | | | | | | | Mar |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| GPS WK | Sun | Mon | Tue | Wed | Thu | Fri | Sat | GPS WK | Sun | Mon | Tue | Wed | Thu | Fri | Sat |
| 1521 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 1521 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 |
| 1522 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 1522 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 |
| 1523 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 1523 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 |
| 1524 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 1524 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 |
| 1525 | 29 | 30 | 31 | | | | | 1525 | 88 | 89 | 90 | | | | |

**شكل ٩-٤**
**تحديد رقم أسبوع الجي بي إس**

تأتي أهم خطوات استخدام المدارات الدقيقة في كيفية تنفيذ هذه الأمر داخل برنـامج حسابات الجي بـي إس ، حيث أن معظم البرامج التجارية commercial software تعتمـد الوضـع الافتراضي default أنها تستخدم المدار المذاع داخل إشـارة القمر الصناعـي Broadcast Orbits ولا بد من إجبار البرنامج علي التغير إلي استخدام ملفات المدار الدقيق. وبـالطبع هذه العملية ستختلف من برنامج لآخر ولكن سنشرح أحد الأمثلة وهو برنـامج شركة ليكا Lieca Geo Office[5]:

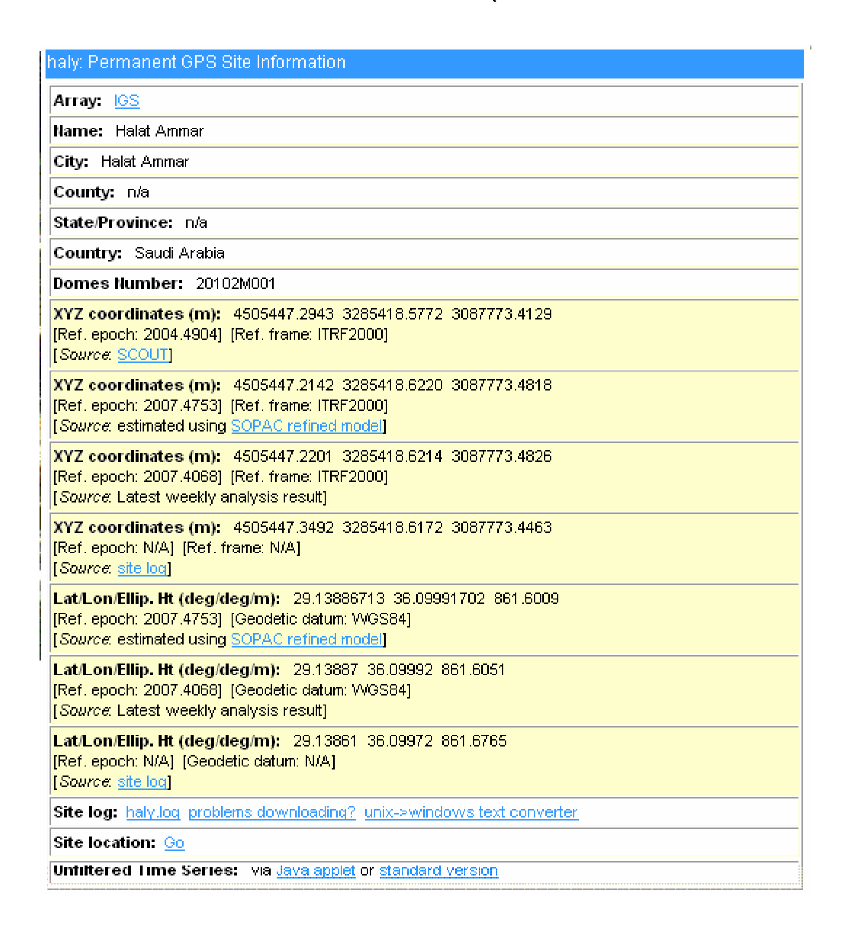
- بعد إنشاء مشروع جديد ، من قائمة Import نختار Precise Ephemeris
- نذهب للمجلد الموجود به ملف sp3 ونختاره.
- في قائمة الحساب GPS-Proc ، وفي أي مكان في الجزء الأيمن من النافذة نضغط الزر الأيمن للماوس فتظهر قائمة نختار منها Processing Parameters أي عناصر الحساب ، وفي النافذة الجديدة و أمام كلمة نوع المدار Ephemeris لا بد من التغييـر مـن نـوع Broadcast (وهـو الاختيـار الافتراضـي للبرنـامج) إلـي نـوع Precise أي المدار الدقيق وذلك لإبلاغ البرنامج أننا نريد استخدام ملف المدار الدقيق أثناء الحسابات.
- ثم نكمل الخطوات الحسابية كالمعتاد.

[5] داود ، جمعة محمد ، ٢٠٠٩ ت ، تحسين دقة مدارات الأقمار الصناعية في حسابات الجي بي إس ، متاح فـي: http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%7C_GPS%7C_Orbits%7C_Ar.pdf

### ٩-٢-٣ الإحداثيات الدقيقة لمحطات IGS :

يعد الحصول علي قيم إحداثيات محطات IGS متطلبا من متطلبات استخدام أرصاد هذه المحطات وخاصة عند الحاجة لتثبيت الإحداثيات Fixed Point في عملية ضبط الشبكات (أرجع للجزء ٦-٢-٢). توجد طريقتين للحصول علي إحداثيات محطات IGS:

الطريقة الأولي: بالضغط علي اسم المحطة المطلوبة في قائمة المحطات في الرابط: http://igscb.jpl.nasa.gov/network/list.html ثم نضغط ملف Log File للمحطة والذي يحتوي كافة المعلومات عنها كما في الشكل (٩-٥). يشمل ملف بيانات كل محطة إحداثياتها منسوبة لمجسم WGS84 (للتطبيقات المساحية) وأيضا قيم الإحداثيات في أحد أطر ITRF (للتطبيقات الجيوديسية عالية الدقة).

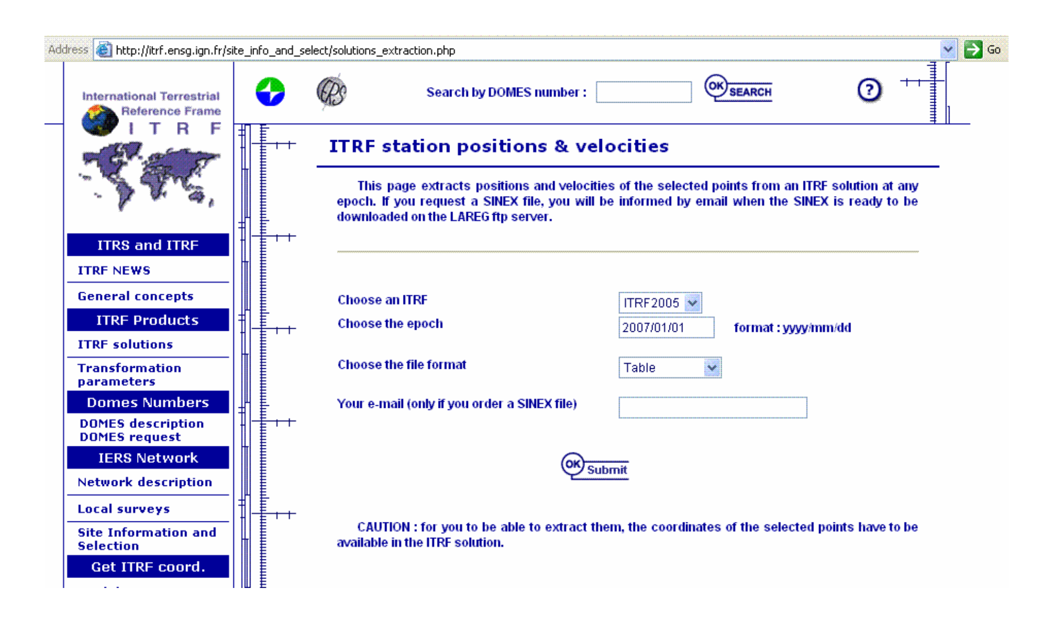

haly: Permanent GPS Site Information

Array: IGS
Name: Halat Ammar
City: Halat Ammar
County: n/a
State/Province: n/a
Country: Saudi Arabia
Domes Number: 20102M001
XYZ coordinates (m): 4505447.2943 3285418.5772 3087773.4129
[Ref. epoch: 2004.4904] [Ref. frame: ITRF2000]
[Source: SCOUT]
XYZ coordinates (m): 4505447.2142 3285418.6220 3087773.4818
[Ref. epoch: 2007.4753] [Ref. frame: ITRF2000]
[Source: estimated using SOPAC refined model]
XYZ coordinates (m): 4505447.2201 3285418.6214 3087773.4826
[Ref. epoch: 2007.4068] [Ref. frame: ITRF2000]
[Source: Latest weekly analysis result]
XYZ coordinates (m): 4505447.3492 3285418.6172 3087773.4463
[Ref. epoch: N/A] [Ref. frame: N/A]
[Source: site log]
Lat/Lon/Ellip. Ht (deg/deg/m): 29.13886713 36.09991702 861.6009
[Ref. epoch: 2007.4753] [Geodetic datum: WGS84]
[Source: estimated using SOPAC refined model]
Lat/Lon/Ellip. Ht (deg/deg/m): 29.13887 36.09992 861.6051
[Ref. epoch: 2007.4068] [Geodetic datum: WGS84]
[Source: Latest weekly analysis result]
Lat/Lon/Ellip. Ht (deg/deg/m): 29.13861 36.09972 861.6765
[Ref. epoch: N/A] [Geodetic datum: N/A]
[Source: site log]
Site log: haly.log problems downloading? unix->windows text converter
Site location: Go
Unfiltered Time Series: via Java applet or standard version

**شكل ٩-٥**
**مثال لملف بيانات محطة IGS**

الطريقة الثانية هي الحصول علي الإحداثيات من موقع الإطار العالمي المرجعي الأرضي ITRF في الرابط: http://itrf.ensg.ign.fr/select.php. توجد عدة وسائل لاختيار النقطة (أو النقاط) المطلوب إحداثياتها ، فمثلا توجد وسيلة للاختيار علي الخريطة التفاعلية GIS في الرابط: http://itrf.ensg.ign.fr/GIS/index.php ، كما توجد صفحة أخري للاختيار باسم النقطة في: http://itrf.ensg.ign.fr/select_code.php. وتكون الخطوات في الأسلوب الأخير كالآتي:

- نكتب اسم النقطة في المربع ثم نضغط select
- في الشاشة التالية نضع علامة في المربع الصغير بجوار اسم النقطة ، ثم نضغط Add selected points to cart
- في الشاشة التالية نضغط display selected points
- في الشاشة التالية نضغط Get ITRF coordinates of these points
- في الشاشة التالية نختار نوع ITRF المطلوب من القائمة بجوار: Choose an ITRF وأيضا نحدد اللحظة المطلوب فيها الإحداثيات بكتابتها في الصندوق أمام: Choose the epoch ثم نختار نوع الملف المطلوب (يفضل Table حتى تظهر الإحداثيات على الشاشة مباشرة) ثم أخيرا نضغط Submit (شكل ٩-٦).




**شكل ٩-٦**

**مثال للحصول على إحداثيات محطة IGS في إطار ITRF**

من مميزات هذه الطريقة أنها تقدم إحداثيات عالية الدقة لأي محطة IGS في أي إطار ITRF يحدده المستخدم وأيضا لأي لحظة epoch يحددها ، مما يجعل المستخدم في غير حاجة لتحويل الإحداثيات من إطار ITRF لآخر أو من لحظة epoch لأخرى كما في المعادلتين (٢-٢١ و ٢-٢٢).

### ٩-٣ خدمات حسابات مجانية لأرصاد الجي بي إس:

مع زيادة انتشار تطبيقات الجي بي إس بصورة مذهلة في الكثير من المجالات على المستوى العالمي قامت عدة جهات دولية أكاديمية و تطبيقية بإنشاء مواقع لها على شبكة الانترنت بغرض مساعدة مستخدمي الجي بي إس على الوصول لأعلى دقة ممكنة في تحديد المواقع. تمتلك هذه الخدمات أو المواقع بالعديد من المميزات مثل: (١) أنها خدمة مجانية بدون أي تكلفة ، (٢) أنها تلغي الحاجة لشراء برنامج متخصص في الحسابات ، (٣) أنها مفيدة جدا لمن ليست لديهم خبرة كبيرة في طرق حسابات أرصاد الجي بي إس ونماذجه الرياضية المختلفة ، (٤) أن استخدام المحطات العالمية IGS كمحطات ربط للنقاط الجديدة يقلل من عدد أجهزة الرصد المطلوبة لإكمال الأعمال الحقلية وبالتالي فأن تكلفة تجميع البيانات الحقلية ستقل أيضا. وهذه المميزات

تساعد في خفض معقول لتكلفة مشروعات المساحة والخرائط باستخدام تقنية الجي بي إس [٦].

تشمل مواقع الحسابات الآنية on-line processing services العديد من المواقع ومنها علي سبيل المثال:

١. موقع AUSPOS الاسترالي في الرابط: http://www.ga.gov.au.
٢. موقع PPP الكندي في الرابط: http://www.geod.nrcan.gc.ca.
٣. موقع SCOUT الأمريكي في الرابط: http://sopac.ucsd.edu/
٤. موقع هيئة المساحة الجيوديسية الأمريكية OPUS في الرابط: http://www.ngs.noaa.gov.
٥. موقع Auto-GIPSY الأمريكي في الرابط: http://milhouse.jpl.nasa.gov/ag/

يقدم الموقع الأول خدماته لكل المستخدمين في العالم منذ أواخر عام ٢٠٠٠ ، وتقوم بتشغيله منظمة استراليا للعلوم الأرضية Geo-science Australia. يقبل الموقع (عن طريق البريد الالكتروني أو ftp) ملفات أرصاد الجي بي إس بصيغة راينكس من أي مستخدم في العالم. يعتمد حساب الإحداثيات علي استخدام مدارات الأقمار الصناعية الدقيقة من IGS بالإضافة للربط علي أقرب ٣ من محطات IGS الأرضية وإخراج النتائج في إطار ITRF وإرسالها للمستخدم عبر البريد الالكتروني.

الموقع الكندي PPP تديره هيئة المساحة الجيوديسية الكندية و هو مشابه تماما لمواصفات الموقع الأول ، إلا أنه يقبل أيضا أرصاد جي بي إس متحركة kinematic GPS data بالإضافة للأرصاد الثابتة static GPS data. الكنديون هم أول من أبتكر مصطلح PPP الذي يعني التحديد الدقيق لإحداثيات النقطة Precise Point Positioning عن طريق الاستفادة من خدمات منظمة IGS ومازالوا يطورون هذا الأسلوب للعديد من التطبيقات [٧].

موقع SCOUT يديره مركز بيانات المدارات و أرصاد المحطات الدائمة SOPAC وهو أحد مراكز حسابات IGS العالمية. من مميزات هذا الموقع أنه يتيح للمستخدم أن يحدد محطات IGS التي يريد ربط أرصاده عليها. أما موقع OPUS الذي تديره هيئة المساحة الجيوديسية الأمريكية NGS فيعتمد علي ربط الأرصاد مع محطات CORS المقامة في الولايات المتحدة الأمريكية (أو في دول أخري وتشرف عليها NGS) ، وبالتالي فأن خدمات هذا الموقع غير متاحة لكل المستخدمين. أما موقع Auto-GIPSY فيعتمد علي حساب إحداثيات مطلقة لكل نقطة Single Point Positioning دون ربطها علي محطات IGS. الجدول (٩-٣) يقدم مقارنة بين خصائص مواقع أو خدمات حسابات الجي بي إس علي الانترنت.

[6] Mohamed, H., Dawod, G., and Ismail, S., 2007, Assessment of a cost-effective GPS data processing alternative in Egypt utilizing international on-line processing services, Water Sciences, No. 41-42, pp. 61-70.

[7] Leandro, R., 2009, Precise point positioning with GPS: A new approach for positioning atmospheric studies and signal analysis, PhD Dissertation, New Brunswick University's technical report No. 257, April, 266 pp.

## ٩-٤ برامج مفيدة للجي بي إس:

تصدر الجهات العالمية المتخصصة و بصفة مستمرة العديد من برامج الكمبيوتر المجانية الخاصة بالتطبيقات المساحية و الجيوديسية بصفة عامة و الجي بي إس بصفة خاصة. وعلي متخصصي المساحة متابعة البحث في شبكة الانترنت عن كل ما هو جديد من برامج تساعدهم في تنفيذ أعمالهم التقنية بصورة جيدة. وسنستعرض هنا بعض أمثلة من البرامج التخصصية المتاحة مجانا علي الانترنت.

### (أ) برنامج GeoTrans لتحويل الإحداثيات الجيوديسية:

برنامج المحول الجغرافي Geographic Translator أو اختصارا GeoTrans من تطوير هيئة المساحة الأمريكية. النسخة الحالية ٢.٤ بتاريخ أغسطس ٢٠٠٦ بحجم حوالي ١٥ ميجابايت ومتاحة في الرابط:
http://www.gisclub.net/vb/redirector.php?url=http://earth-info.nga.mil/GandG/geotrans/#Downloading

يقوم البرنامج بتحويل الإحداثيات بين المراجع الجيوديسية و أيضا يقوم بإسقاط الإحداثيات. يعتمد البرنامج علي قاعدة بيانات بداخله تشمل مجموعة كبيرة جدا من نظم الإحداثيات و المراجع الجيوديسية المعروفة و المستخدمة في أنحاء العالم. كما يسمح البرنامج أيضا بإنشاء نظام إحداثيات أو مرجع جديد إن لم يكن موجودا في مكتبة البرنامج [٨].

كذلك قامت احدي الشركات وأسمها TatuGIS بعمل نسخة مبسطة من برنامج GeoTrans تحت أسم Free Coordinate Calculator. لا يحتوي هذا البرنامج كل إمكانيات البرنامج الأصلي لكنه يتميز بسهولة الاستخدام و صغر حجم الملف (٢ ميجابايت فقط) ويمكن الحصول عليه مجانا من الرابط: http://www.tatugis.com .

**جدول ٩-٣**
**مقارنة بين خدمات الانترنت لحسابات الجي بي إس**

| اسم الخدمة | القيود علي بيانات الجي بي إس المقدمة للموقع | الوقت المستغرق لوصول النتائج للمستخدم (دقيقة) | البدائل المتاحة للمستخدم | طريقة رفع الملفات للموقع |
|---|---|---|---|---|
| AUSPOS | - لا تقل عن ساعة من البيانات ثنائية التردد.<br>- لا يزيد عدد الملفات عن ٧. | أكثر من ٢٥ | - تحديد نوع الهوائي و ارتفاعه | الرفع Uploading أو عن طريق FTP |
| PPP | - لا قيود سواء للأرصاد الثابتة أو المتحركة. | أقل من ٣ | - اختيار طريقة الحساب. | الرفع Uploading |

[8] داود ، جمعة محمد ، ٢٠٠٧ ، برنامج للتحويل بين المراجع الجيوديسية ، نادي نظم المعلومات الجغرافية في: http://www.gisclub.net/vb/showthread.php?t=1342

| | - الحد الأقصى للبيانات ٦ أيام متواصلة بحجم أقل من ١٠٠ ميجابايت. | | - اختيار المرجع. | |
|---|---|---|---|---|
| SCOUT | - لا تقل عن ساعة من البيانات ثنائية التردد. | أكبر من ١٥ | - تحديد نوع الهوائي و ارتفاعه<br>- اختيار محطات الربط. | عن طريق FTP |
| OPUS | - علي الأقل بيانات ثنائية التردد لمدة ساعتين.<br>- بحد أقصي بيانات ثابتة لمدة ٢٤ ساعة.<br>- الموقع متاح فقط للمستخدمين في أمريكا الشمالية. | أكبر من ٤ | - تحديد نوع الهوائي و ارتفاعه | الرفع Uploading |
| Auto-GIPSY | - علي الأقل ساعة واحدة من الأرصاد. | أقل من ٣ | - لا يوجد | عن طريق FTP |

### (ب) برنامج EGM2008 Calculator لحساب حيود الجيويد:

برنامج Alltrans EGM2008 Calculator هو برنامج مجاني وهو من تطوير عالم ألماني أسمه Hans-Gerd Duenck-Kerst من شركة AltStat الألمانية ، والإصدار الحالي له هو الأول Version 1.0 . البرنامج (حجمه ٧ ميجابايت فقط) لحساب قيمة حيود الجيويد N من النموذج العالمي الحديث EGM2008 ( لاحظ أن البرنامج الأصلي المتاح بموقع هيئة المساحة العسكرية الأمريكية التي أنتجت النموذج حجم ملفاته الإجمالي حوالي ٣٦٧ ميجا !!).

البرنامج سهل التعامل معه وله ٣ قوائم menus لأداء الحسابات علي ٣ مستويات[٩]:

- حساب N نقطة بنقطة علي الشاشة في قائمة calc Manual
- حساب N شبكة Grid لمنطقة معينة في قائمة Grid Maker
- حساب N مجموعة من النقاط موجودة في ملف نصي txt في قائمة File calc

[9] داود ، جمعة محمد ، ٢٠٠٩ ث ، برنامج لحساب الجيويد من EGM2008 ، منتدى الهندسة المساحية في: http://surveying.ahlamontada.com/montada-f1/topic-t454.htm

الفكرة الأساسية للبرنامج هي استنباط interpolation قيمة حيود الجيويد of EGM2008 N من شبكة (سيق حسابها من النموذج الأصلي) وهذه الشبكة تتكون الخلية الواحدة منها من ١٠×١٠ دقائق ، وهذا هو الخيار الأساسي المسمي Internal Dataset . كما يتيح البرنامج أيضا – في خيار External Dataset - استخدام شبكات Grids أخري بخلية ١×١ دقيقة أو ٢.٥×٢.٥ دقيقة لكن ملفاتهما غير موجودة في البرنامج ويجب أن يقوم المستخدم بالحصول عليهما - من موقع هيئة المساحة العسكرية الأمريكية - أولا إن رغب في ذلك. كما يقوم البرنامج باستنباط قيم N بتطبيق ٤ طرق رياضية مختلفة (خاصة في المستوي الأول).

### (ج) برنامج حساب الجيويد من قياسات الجاذبية الأرضية:

برنامج GravSoft لحسابات الجيويد من قياسات الجاذبية الأرضية Gravity Geodetic Field Modelling Program والذي قام بتطويره البروفيسور كارل تشيرنج Carl C. Tscherning والبروفيسور راين فورسبرج Rene Forsberg العالمين الشهيرين بجامعة كوبنهاجن الدنمركية. البرنامج متاح مجانا للاستخدام العلمي و التعليمي فقط – دون أية أغراض تجارية - من خلال موقع: ftp.gfy.ku.dk أو بالكتابة للبروفيسور الأول علي: cct@gfy.ku.dk. النسخة الحالية هي ٢.٦.٦ بتاريخ يناير ٢٠٠٩ وحجم الملف المضغوط ١٤ ميجا.

### (د) برنامج DNR GARMIN لتحويل بيانات أجهزة GPS ماركة Garmin إلي برنامج نظم المعلومات الجغرافية Arc GIS:

برنامج مجاني من تطوير إدارة الموارد الطبيعية – المعروفة اختصارا باسم DNR – بولاية مينسوتا الأمريكية ، و متاح في الرابط:
http://files.dnr.state.mn.us/aboutdnr/bureaus/mis/gis/tools/arcview/extensions/dnrgarmin/dnrgarmin53setup.zip
والنسخة الحالية هي: ٥.٣.٢ وحجم الملف ١١.٥ ميجابايت ، ومتوافق مع برنامج نظم المعلومات الجغرافية Arc GIS لأي إصدار من النسخة ٩.

وظائف البرنامج الرئيسية [١٠]:

- تحميل النقاط و الخطوط والمضلعات التي تم قياسها باستخدام أجهزة الجي بي إس من إنتاج شركة جارمن (لا يصلح البرنامج لأي أجهزة GPS أخري !) إلي الحاسب الآلي سواء باستخدام البرنامج منفردا أو باستخدامه من داخل برنامج ArcGIS مباشرة.
- يمكنه– بعد تحميل القياسات – تخزين الملف الناتج في صيغة KML وهي صيغة برنامج الجوجل ايرث الشهير Google Earth بحيث يمكن توقيع المواقع المرصودة علي الصور الفضائية في الجوجل ايرث مباشرة.
- يقوم بتخزين إحداثيات المواقع المرصودة في ملفات نصية Text Files ليمكن استخدامها -لاحقا– مع أي برامج أخري.
- يمكن للبرنامج إرسال ملفات طبقات نقاط Point Shepfiles إلي جهاز الجي بي إس بعد تحويلها للصيغة التي تتعامل معها أجهزة الجارمن.

[10] داود ، جمعة محمد ، ٢٠٠٨ ب ، شرح برنامج Garmin DNR ، منتدى الهندسة المساحية في: http://surveying.ahlamontada.com/montada-f6/topic-t254.htm

- يقـوم البرنــامج بحـساب محـيط و مـساحة المـضلعات المرصـودة وإضــافتها للبيانــات الوصفية Attributes قبل نقلها لبرنامج ArcGIS

**(ذ) موقع لتحويل الإحداثيات الجغرافية إلي UTM :**

موقع لتحويل الإحداثيات الجغرافية (خط الطول ودائرة العرض) إلـي إحداثيات مسقطة بنظـام ميريكاتور المستعرض العالمي UTM ، وبصورة آنية on-line في الرابط [١١]:

http://pages.globetrotter.net/roule/utmgoogle.htm

[11] داود ، جمعة محمد ، ٢٠٠٨ ، تحويل الإحداثيات من و إلـي UTM ، نـادي نظـم المعلومـات الجغرافيـة فـي: http://www.gisclub.net/vb/showthread.php?t=3060

# المراجع

## أولا: المراجع العربية


إبراهيم ، نقولا ، ١٩٨٢ ، مساقط الخريطة ، منشأة المعارف ، الإسكندرية ، مصر.

أبو راضي ، فتحي عبد العزيز ، ١٩٩٨ ، الجغرافيا العملية و مبادئ الخرائط ، دار النهضة الحديثة ، بيروت ، لبنان.

الحسيني ، صفوت ، ٢٠٠٢ ، الجيوديسيا ، القاهرة ، مصر.

الصقير ، عبد العزيز ، ١٤٢٧ هـ ، الأقمار الصناعية ، مجلة العلوم و التقنية ، العدد ٨٠ ، ص ٥-٩.

العيسي ، سميح يوسف ، ٢٠٠٦ ، مبادئ عمل منظومة التوضع GPS ، شعاع للنشر والعلوم ، حلب ، سوريا.

الغزالي ، محمد شوقي ، ١٩٩٧ ، الجيوديسيا الهندسية و نظام تحديد المواقع العالمي ، القاهرة ، مصر.

الربيش ، محمد بن حجيلان ، ١٤٢٠ هـ ، النظام الكوني لتحديد المواقع ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.

المؤسسة العامة للتعليم الفني و التدريب المهني ، ١٤٢٦ هـ ، نظام تحديد المواقع العالمي ، مقرر دراسي لطلاب الكليات التقنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.

المؤسسة العامة للتعليم الفني و التدريب المهني ، ١٤٢٦ هـ ، النظام الكوني لتحديد المواقع ، مقرر دراسي لطلاب المعاهد الثانوية الفنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.

تعيلب ، علي عبد العظيم ، ١٩٩٦ ، الجاذبية الأرضية ، المعهد القومي للبحوث الفلكية و الجيوفيزيقية ، حلوان، مصر.

تعيلب ، علي عبد العظيم ، ١٩٩٧ ، الجيوديسيا ، المعهد القومي للبحوث الفلكية و الجيوفيزيقية ، حلوان، مصر.

داود ، جمعة محمد ، ٢٠٠٢ ، استخدام أحدث تقنيات الرصد علي الأقمار الصناعية في تحديد حجم المنخفضات لمشروعات الإدارة المتكاملة للموارد المائية ، مجلة علوم المياه ، العدد ٣١، ص ٢٣-٣١ ، متاح في:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Papers/Dawod%20GPS%5E_Depression%5E_Vol%202002.pdf.

داود ، جمعة محمد ، ٢٠٠٧ ، برنامج للتحويل بين المراجع الجيوديسية ، نادي نظم المعلومات الجغرافية في: http://www.gisclub.net/vb/showthread.php?t=1342

داود ، جمعة محمد ، ٢٠٠٨ ، تحويل الإحداثيات من و إلي UTM ، نادي نظم المعلومات الجغرافية في: http://www.gisclub.net/vb/showthread.php?t=3060

داود ، جمعة محمد ، ٢٠٠٨ ب ، شرح برنامج DNR Garmin ، منتدى الهندسة المساحية في: http://surveying.ahlamontada.com/montada-f6/topic-t254.htm

داود ، جمعة محمد ، ٢٠٠٩ ، أحدث التطورات في إنتاج الأجهزة المساحية ، منتدى المهندسون العرب في الرابط: http://www.arab-eng.org/vb/t138959.html#post1141850

داود ، جمعة محمد ، ٢٠٠٩ب ، الجيويد و الجي بي أس: مقال مترجم ، منتدى الهندسة المساحية في الرابط: http://surveying.ahlamontada.com/montada-f1/topic-t573.htm

داود ، جمعة محمد ، ٢٠٠٩ ت ، تحسين دقة مدارات الأقمار الصناعية في حسابات الجي بي إس ، متاح في:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%7C_GPS%7C_Orbits%7C_Ar.pdf

داود ، جمعة محمد ، ٢٠٠٩ ث ، برنامج لحساب الجيويد من EGM2008 ، منتدى الهندسة المساحية في: http://surveying.ahlamontada.com/montada-f1/topic-t454.htm

حموي ، هيثم نوري ، ١٩٩٧ ، مدخل إلي جيوديسيا الأقمار الصناعية ومقدمة مسهبة في نظام التوضع العالمي ، فيينا ، النمسا ، متاح في: http://members.chello.at/hamoui .

سمونة ، محمد علي ، ٢٠٠٥ ، نظام تحديد المواقع العالمي ، مقرر الجيوديسيا الفضائية لطلاب الدبلوم بجامعة الملك سعود بالرياض ، المملكة العربية السعودية ، صفحة:
http://faculty.ksu.edu.sa/hbilani/SE412ppt%20presentations/diplome_6.ppt#257,1

شكري ، علي ، حسني ، محمود ، رشاد ، محمد ، ١٩٨٩ ، المساحة الجيوديسية ، منشأة المعارف ، الإسكندرية ، مصر.

صالح ، حسين عزيز ، ٢٠٠٨، نظام التعيين الاحداثي العالمي: الجي بي أس ، متاح في: http://iridia.ulb.ac.be/~hsaleh/

صيام ، يوسف ، ٢٠٠٢ ، المساحة: أنظمة الإحداثيات و قراءة الخرائط ، عمان ، الأردن.

عبد العزيز ، يوسف إبراهيم و الحسيني ، محمد صفوت ، ٢٠٠٧ ، المساحة ، دار المعرفة للنشر و التوزيع، القاهرة ، مصر.

علي ، رمضان سالم محمد ، ٢٠٠٩ ، أساسيات نظام الملاحة العالمي بالأقمار الصناعية ، متاح في: http://ramadansalem.webs.com/GPS%20Basics.pdf

محمد ، وسام ، ٢٠٠٩ ، خدمة ال RTK عبر الجوال في العراق ، منتدى الهندسة المساحية في الرابط: http://surveying.ahlamontada.com/montada-f11/topic-t592.htm

مكتب الجي بي أس الرسمي الأمريكي ، ٢٠٠٨، نظام التموضع العالمي ، متاح في: http://www.gps.gov/systems/gps/arabic.html

موسي ، أشرف القطب ، ٢٠٠٨، دليل منظومة الأمانة للمحطات الدائمة للنظام العالمي لتحديد المواقع بأمانة جده، تقرير أمانة محافظة جدة ، المملكة العربية السعودية ، متاح في: http://www.jeddah.gov.sa/masaha/directories/files/dir2.pdf .

موسي ، أشرف القطب ، ٢٠٠٩، دليل نظم الإحداثيات و علاقتها بنظام إحداثيات خرائط أمانة جدة ، تقرير أمانة محافظة جدة ، المملكة العربية السعودية ، متاح في: http://www.jeddah.gov.sa/masaha/directories/files/dir1.pdf .

## ثانيا: المراجع الأجنبية

Ahamed, A. and Abdalla, K., 2006, Transformation of the Transit (Doppler) and GPS stations to Adindan datum, Sudan Engineering Society' Journal, V. 52, No. 47, September, pp. 15-23. Available at: http://www.ses-sudan.org/english/SESpublications/ses_jour/47/1523GozouliSESformat2.pdf

Ali, A., 2009, Assessment of the polynomials for conversion between geodetic coordinates and the UTM and vice versa, CERM V. 31, N. 3, July, pp. 973-987.

Alnaggar, D., and Dawod, G., 1995, Increasing the reliability of GPS geodetic networks, Proceedings of the First International Conference on Satellite Positioning Systems, Alexandria, Egypt, December 12-13.

Alnaggar, D., and Dawod, G., 1999, Efficiency of GPS techniques in national applications, Proceedings of the International Conference on Integrated Management of Water Resources in the 21st Century, Cairo, November 21-25, Volume II, pp. 741-752.

Al Marzooqi, Y., Fashir, H., and Babiker, T., 2005, Establishment & testing of Dubai Virtual Reference System (DVRS) national GPS-RTK network, Available at: http://www.gisdevelopment.net/technology/gps/me05_131.htm

Al-Rabbany, A., 2009, GNSS Positioning - Some recent developments and trends, Map Middle East Conference, Dubai, UAE, April 26-28. Available at: http://www.gisdevelopment.net/proceedings/mapmiddleeast/2009/mme09_AhmedELRabbany.pps

Al-Rabbany, A., 2002, Introduction to GPS: The Global Positioning System, Artech House, Inc., Boston, USA.

Anderson, J. and Mikhail, E., 1998, Surveying: Theory and practice, Seventh Edition, McGraw-Hill, New York, USA.

Borio, D., 2008, A statistical theory for GNSS signal acquisition, PhD Dissertation, Politecbco Di Torino, 291 pp.

California Department of Transportation, 2006, Global Positioning System (GPS) survey specifications, California, USA, Available at: http://www.dot.ca.gov/hq/row/landsurveys/SurveysManual/06_Surveys.pdf.

Cojocaru, S., Birsan, E., Battinca, G., and Arsenie, P., 2009, GPS-GLONASS_GALILEO: A dynamical comparison, Journal of Navigation, 62: 135-150.

Dana, P., 2000, Map projection, The Geographer's Craft Project, Department of Geography, The university of Colorado at Boulder,, USA, Available on-line at: http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/

Dawod, G., 1991, Some considerations in the adjustment of GPS-derived baselines in the network mode, MSC Thesis, Geodetic science and surveying department, The Ohio State University, Columbus, Ohio, USA, Available at: http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20PHD%20in%20Surveying/Dawod%20GPS%5E_MSC%201991.pdf.

Dawod, G., 1998, A National Gravity Standardization Network for Egypt, Ph.D. thesis, Shoubra Faculty of Engineering, Zagazig University, Cairo, Egypt, Available at: http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20PHD%20in%20Surveying/Dawod%20ENGSN%5E_PhD%201998.pdf.

Dawod, G., and Alnaggar, D., 2000, Optimum geodetic datum transformation techniques for GPS surveys in Egypt, Proceedings of Al-Azhar Engineering Sixth International Engineering Conference, Al-Azhar University, September 1-4, Volume 4, pp. 709-718, Available at: http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20GPS%20Transformation%202000.pdf.

Dawod, G., 2003, Modernization plan of GPS in 21st century and its impacts on surveying applications, Proceedings of Al-Azhar Seventh International Engineering Conference (CD No. 3), Al-Azhar University, Cairo, Egypt, April 7-10, Available at: http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Modernization%20of%20GPS%202003.pdf.

Dawod, G., 2003b, Proposed standards and specifications for GPS geodetic surveys in Egypt, Water Science Magazine, No. 33, April. pp. 33-39, Available at: http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20GPS%20Standards%202003.pdf.

Dawod, G., 2003c, Productive GPS topographic mapping for national development projects in Egypt, Proceedings of the First International Conference on Civil Engineering, Assiut University, Volume 2, pp. 246-253, October 7-8, Available at: http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Top%5E_Surv%20GPS%202003.pdf.

Dawod, G., and Abdel-Aziz, T., 2003, Establishment of precise geodetic control networks for updating the River Nile maps, Proceedings of Al-Azhar Engineering Seventh International Conference (CD No. 3), Al-Azhar University, Cairo, April 7-10, Available at: http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Nile%5E_GPS%5E_Network%202003.pdf.

Dawod, G., and Ismail, S., 2005, Enhancing the integrity of the national geodetic data base in Egypt, Proceedings of the FIG working week and GSDI-8 International Conference, Cairo, Egypt, April 16-21, Available at: http://www.fig.net/pub/cairo/papers/ts_13/ts13_06_dawod_ismail.pdf .

Dawod, G., 2007, New strategies in the utilization of GPS technology for mapping and GIS activities in Egypt, Civil Engineering Research Magazine (CERM), V. 29, No. 1 (Jan.), pp. 292-310, Available at: http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20New%20GPS%20strategies%202007.pdf.

Dawod, G., 2008, Towards the redefinition of the Egyptian geoid: Performance analysis of recent global geoid models and digital terrain models, Journal of Spatial Science, V. 53, No. 1, pp. 31-42, Available at: http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Analyiz%20Global%20Geoids%202008.pdf.

Dawod, G., and Mohamed, H., 2009, Fitting gravimetric local and global quasi-geoids to GPS/levelling data: The role of geoid/quasi-geoid variations in Egypt, King Abdel-Aziz University's Journal of Engineering Sciences, V. 20, No. 1, pp. 47-59, Available at: http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20

and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Geoid%20QuasGeoid%202008.pdf.

Dawod, G., Mohamed, W., 2009, Data management of different height systems within GPS/GIS integrated spatial technology, Accepted for presentation in the Middle East Spatial Technology Conference (MEST2009), December 7-9, Kingdom of Bahrain.

Dawod, G., Mohamed, H., and Ismail, S., 2010, Evaluation and adaptation of the EGM2008 geopotential model along the northern Nile valley, Egypt: Case study, ASCE Journal of Surveying Engineering, Accepted and scheduled for publication in February 2010 issue.

European Space Agency (ESA), 2009a, Galileo project website at: http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/galileo/intro/index_en.htm

European Space Agency, 2009b, EGNOS project website at: http://www.esa.int/esaNA/egnos.html

Feathersotne, W., 2008, GNSS-based heighting in Australia: Current, emerging and future issues, Spatial Science, V. 53, No. 2, pp. 115-134.

Flury, J. and Rummed, R., 2009, On the geoid-quasigeoid separation in mountain areas, Journal of Geodesy, V. 83, pp. 829-847.

Fugro Chance Inc., 2007, GNSS status and plans, website: http://www.fugro.com

Ghilani, C., and Wolf, P., 2006, Adjustment computations: Spatial data analysis, Forth edition, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, USA.

Habib, M. and Abu Rabah, R., 2006, An alternative approach for making maps compatible with GPS, Damascus University Journal, Vol. 22, No. 1, pp. 13-29, Available at: http://www.dahsha.com/up/files/Maen.pdf.

Hadi, W. and Tuckerman, P., 2007, Kingdom of Bahrain GPS permanent reference network, Presented at the Map Middle East 2007 conference, April 11, Available at: http://www.gisdevelopment.net/proceedings/mapmiddleeast/2007/technology/GPS/mme07_Patrick.pdf .

Heiskanean, W. and Moritz, H., 1967, Physical geodesy, W. H. Freeman and Company, San Francisco, USA.

Hofman-Wellenhof, B. and Moritz, H., 2005, Physical geodesy, Springer Wien, New York, USA.

InsideGNSS Magazine, 2006, Compass and China's GNSS makes four, available at: http://www.insidegnss.com/node/115

InsideGNSS Magazine, 2008, China adds details to Compass (Beidou II) signal plans, available at: http://www.insidegnss.com/node/803

International Center of Gravity Earth Models (ICGFM), 2009, http://icgem.gfz-potsdam.de/ICGEM/modelstab.html, accessed October 22.

International GNSS Service, 2009a, IGS Products, Website: http://igscb.jpl.nasa.gov/components/compindex.html, accessed Sept.

International GNSS Service, 2009b, IGS orbits, website: http://igscb.jpl.nasa.gov/components/prods.html, Accessed Sept.

Iliffe, J., 2005, Datums and map projection: For remote sensing, GIS, and surveying, CRC Press, Washington, DC, USA.

International Terrestrial Reference Frame (ITRF) website at: http://itrf.ensg.ign.fr/

Jekeli, C., 2006, Geodetic reference systems in geodesy, Lecture notes, Division of geodesy and geospatial science, School of Earth sciences, Ohio State University, Columbus, Ohio, USA.

Kaplan, E. and Hegarty, C., 2006, Understanding GPS: Principles and applications, Second Edition, Artech House, Inc., Boston, USA.

Koch, K., 1988, Parameter estimation and hypothesis testing in linear models, Second Edition, Springer-Verlag, Berlin, Germany.

Kohli, A. and Jennim L., 2008, Transformation of cadastral data between geodetic reference frames using finite element method, Proceedings of the FIG working week conference, Stockholm, Sweden, June 14-19, Available at: http://www.fig.net/pub/fig2008/papers/ts02a/ts02a_05_kohli_jenni_2623.pdf.

Leandro, R., 2009, Precise point positioning with GPS: A new approach for positioning atmospheric studies and signal analysis, PhD Dissertation, New Brunswick University's technical report No. 257, April, 266 pp.

Lieck, A., 1995, GPS Satellite surveying, John Wiley & Sons Inc., New York, USA.

Mahmoud, D., 2004, Monitoring of crustal movements in Egypt using GPS technique, Presented at the United

Nations/United States of America International meeting on the use and applications of Global Navigation Satellite System, December 13 – 17, Vienna, Austria.

Mendizabal, J., Berenguer, R., and Melendez, J., 2009, GPS & Galileo: Dual RF front-end receiver and design, fabrication, and test, McGraw Hill Co., New York, USA.

Mikhail, E., 1976, Observations and least squares, University press of America, New York, USA.

Ministry of sustainable resource management, 2005, British Columbia guidelines for GPS RTK surveys, Release 1.0, British Colombia, Canada, Available at: http://www.ilmb.gov.bc.ca/crgb/gsr/documents/BCGuidelinesForRTKGPSSurveysApril2008.pdf.

Mohamed, H.F., 2005, Realization and redefinition of the Egyptian vertical datum based on recent heterogonous observations, PhD dissertation, Faculty of Engineering at Shobra, Benha University, Available at: http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20PHD%20in%20Surveying/Hoda%5E_Mohamed%20PhD%202005.pdf.

Mohamed, H., Dawod, G., and Ismail, S., 2007, Assessment of a cost-effective GPS data processing alternative in Egypt utilizing international on-line processing services, Water Sciences, No. 41-42, pp. 61-70, Available at: http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Assesment%20on%5E_line%20GPS%202007.pdf.

Mugnier, C., 2008a, Grids and Datums: Arab Republic of Egypt, ASPRS Newsletter, November, pp. 1307-1309, Available at: http://www.asprs.org/resources/Grids/11-2008-egypt.pdf .

Mugnier, C., 2008b, Grids and Datums: Kingdom of Saudi Arabia, ASPRS Newsletter, August, pp. 949-951, Available at: http://www.asprs.org/resources/Grids/08-2008-saudi.pdf .

Natural Resources Canada, 1995, GPS positioning guide, Third Edition, Ottawa, Canada, Available at: http://luna.csrs.nrcan.gc.ca/GPS_Guide_e/GPS_Guide_e.pdf .

Nassar, M., 1994, Advanced geometric geodesy, Lecture notes, Faculty of Engineering, Ain Shams University, Cairo, Egypt.

Navarro-Reyes, D., 2007, Galileo program status and ongoing GIOVE experimentation, Presented at the EGU general assembly, Vienna, Austria, April 16.

Pavlis, N., Holmes, S., Kenyon, S., and Factor, J. , 2008, An earth gravitational model to degree 2160: EGM2008, The European Geosciences Union (EGU) general Assembly, Vienna, Austria, Available at: http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/NPavlis&al_EGU2008.ppt .

Prasad, R. and Ruggieri, M., 2005, Applied satellite navigation using GPS, Galileo and augmentation systems, Artech House, Inc., Boston, USA

US Defense Mapping Agency: DMA, 1959, Geodesy for the layman, First edition, Available at: http://164.214.2.259/GandG/geolay/toc.htm

US National Imagery and Mapping Agency (NIMA), 2000, Department of Defense World Geodetic System 1984: Its definition and relationships with local geodetic system, Technical Report TR8350.2, Third Edition, Washington, DC, USA.

US Army Corps of Engineering, 1990, Survey markers and monumentation, Engineering manual No. 1110-1-1002, Washington, DC, USA, Available at: http://www.usace.army.mil/publications/eng-manuals/em1110-1-1002/toc.htm .

US Army Corps of Engineering, 2003, NAVSTAR Global Positioning System Surveying, Technical Manual No. EM1110-1-1003, Washington, D.C., USA.

Rabah, M., 2009, Enhancement the feasibility of using RTK tides in the Northern coast of Egypt based on performing undulation model corrections derived from the Earth Geopotential Model EGM2008, CERM magazine, V. 31, No. 3, July, pp. 794-808.

Raizner, C., 2008, A regional analysis of GNSS-levelling, MSC Thesis, Stuttgart University, 133 pp.

Russian Space Agency, 2009, GLONASS constellation status as 06.09.2009, website: http://www.glonass-ianc.rsa.ru/pls/htmldb/f?p=202:20:14637162736231801312::NO:::

Saad, A., and Dawod, G., 2002, A Precise Integrated GPS/Gravity Geoid Model for Egypt, Civil Engineering Research Magazine (CERM), Al-Azhar University, V.24, No. 1, Jun, pp.391-405.

Shaker, A., Saad, A., Al-sagheer, A., and Abd alhay, A. , 2003, Comparative study for different transformation models

applied on geodetic coordinate systems, Civil Engineering Research Magazine (CERM), V. 25, No. 3, pp.1562-1590.

Shaker, A., Saad, A., El-Sayed, M., and Ali, A., 2007, Remove-restore technique for improving the datum transformation process, Proceedings of the FIG working week conference, Honk Kong, China, May 13-17. Available from: http://www.fig.net/pub/fig2007/papers/ts_3b/ts03b_03_saad_etal_1218.pdf

Seeber, G., 2003, Satellite Geodesy, Second Edition, Walter de Gruyter Co., Berlin, Germany

Taylor, G., and Blewitt, G., 2006, Intelligent positioning: GIS-GPS unification, John Wiley & Sons Ltd, West Sussex, England.

Uotila, U., 1986, Notes on adjustment computations: Part I, Lecture notes, Geodetic science and surveying department, Ohio state university, Columbus, Ohio, USA.

Vanicek, P., 2001, An online tutorial in Geodesy, http://gge.unb.ca/Research/GeodesyGroup/tutorial/tutorial.htm .

Wells, D., Beck, N., Delikaraoglou, D., Kleusberg, A., Krakiwsky, E., Lacgapelle, G., Langley, R., Nakiboglu, M., Schwarz, K., Tranquilla, J., and Vanicek, P., 1986, Guide to GPS positioning, Department of geodesy and geomatics engineering lecture note 58, University of New Brunswick, Canada, 291 pp, Available at: http://gge.unb.ca/Pubs/LN58.pdf.

# الملاحق

## ملحق ١
## المكتبة الرقمية المساحية المجانية

المكتبة الرقمية المجانية المساحية هي موقع مجاني علي شبكة المعلومات الدولية (الانترنت) قام أحد الباحثين العرب بانشاؤه بهدف خدمة طلاب الهندسة المساحية في العالم العربي. تضم المكتبة عدد كبير من المواد التعليمية و الأكاديمية في معظم تخصصات الهندسة المساحية ولا تتطلب أية شروط للحصول علي نسخة من أي ملف موجود داخلها.

موقع أو رابط المكتبة:
https://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/home.aspx?lc=1033

تتكون المكتبة - أو الموقع - من تسعة أقسام أو مجلدات:

١- المواد أو الكتب باللغة العربية:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/browse.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials

٢- رسائل ماجستير و دكتوراه حديثة:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20PHD%20in%20Surveying

٣- أفلام و ملفات تدريبية عن نظم المعلومات الجغرافية:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/browse.aspx/GIS%20Training%20Vedio

٤- مجلد المواصفات المساحية: Standards in Surveying
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/browse.aspx/Standards%20in%20Surveying

٥- مجلد مواد جيوديسية تقنية باللغة الانجليزية :
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/browse.aspx/Geodesy%20and%20GPS

٦- مجلد مواد مساحية عربية من قسمي المدني و العمارة:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/browse.aspx/Arabic%20Civil%20Materials

٧- بحوث علمية باللغة العربية:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/browse.aspx/Arabic%20Surveying%20Papers

٨- مجلد الاستشعار عن بعد:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/browse.aspx/Remote%20Sensing%20Applications

٩- كتب مساحية باللغة الانجليزية:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/browse.aspx/Books%7C_En

وقائمة محتويات المكتبة الرقمية موجودة بالتفصيل في منتدى الهندسة المساحية وهو أيضا موقع تقني أكاديمي غير ربحي باللغة العربية متخصص في مناقشة و عرض أحدث التقنيات المساحية ، ورابط المنتدى هو:
http://surveying.ahlamontada.com/

بينما محتويات المكتبة الرقمية موجودة في صفحة:
http://surveying.ahlamontada.com/montada-f7/topic-t167.htm#267

وسنستعرض هنا بعض من محتويات هذه المكتبة الرقمية وخاصة في مجال المساحة الجيوديسية و الجي بي أس ، والتي يمكن لأي قارئ الحصول علي نسخة من هذه الملفات الرقمية:

**أولا: مواد جيوديسية باللغة العربية:**

النظام العالمي لتحديد المواقع، مقرر دراسي بالكليات التقنية بالمؤسسة العامة السعودية للتعليم الفني و التدريب المهني:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/GPS%20College.pdf

المساحة الجيوديسية ، مقرر دراسي بالكليات التقنية بالمؤسسة العامة السعودية للتعليم الفني و التدريب المهني:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Geodetic%20Survey%20sur211.pdf

النظام العالمي لتحديد المواقع ، مقرر دراسي بالمعاهد الفنية بالمؤسسة العامة السعودية للتعليم الفني و التدريب المهني:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/GPS%20Institute.pdf

المساحة الجيوديسية مقرر دراسي بالمعاهد الفنية بالمؤسسة العامة السعودية للتعليم الفني و التدريب المهني:

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Geodetic%20Survey%20ssv2-6.pdf

كتاب المهندس محمد بن حجيلان الربيش بعنوان: النظام الكوني لتحديد المواقع GPS :
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/GPS%20Robeesh%201420%20Ar.pdf

كتاب الدكتور هيثم حموي عن: مدخل إلي جيوديسيا الأقمار الصناعية ونظام التوضع العالمي GPS ، وهو بتاريخ ١٩٩٧ (الكتاب موجود في موقع المؤلف علي الانترنت: /http://members.chello.at/hamoui ):
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/GPS%20Hamaoy%2097.pdf

مجلة نادي نظم المعلومات الجغرافية – العدد ١:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/GIS%20Club%20Magazine_1.pdf

محاضرات د. ناصر النعماني (جامعة السلطان قابوس بسلطنة عمان ) في الجي بي إس:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/GPS%20Oman%20All.pdf

الدليل التشغيلي العربي لجهاز GPS ماركة Trimble 5700 مع برنامج الحساب TGO – من إعداد المهندس أحمد بن علوان عقيل:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Trimble5700%20Ahmed%20Elwan.pdf

ملف باللغة العربية عن أساسيات نظام الملاحة العالمي بالأقمار الصناعية GPS للمهندس رمضان سالم محمد:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/GPS%20Basics%20Ramadan%20Ar.pdf

بحث عن تطبيقات تقنية الاستشعار عن بعد و الأساليب الجيوديسية المتطورة في دراسة مورفومترية الوديان الجافة – د. مشاعل بنت محمد آل سعود – يونيه ٢٠٠٢

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Papers/RS%20in%20Morformotery%202002.pdf

ملف باللغة العربية للدكتور حسين عزيز صالح بعنوان: نظام التعيين الاحداثي العالمي (الجي بي إس).

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/GPS%20Saleh%20Ar.pdf

مقال عن المعلومات المساحية و تحديات العالم الجديد:

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Papers/KSA%20Ar%7C_Papers/GIS%20and%20Millitrary%20Data.pdf

بحث عن نظام الإحداثيات في الخرائط الطبوغرافية في المملكة العربية السعودية:

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Papers/KSA%20Ar%7C_Papers/KSA%20Topographic%20Maps.pdf

ترجمة إلي العربية لمقال عن المرجع الجيوديسي و نظام إحداثيات جمهورية مصر العربية:

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Grids%7C_Datums%20of%20Egypt%20AR.pdf

ترجمة إلي العربية لمقال عن المرجع الجيوديسي و نظام إحداثيات المملكة العربية السعودية:

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Grids%7C_Datums%20of%20KSA%20AR.pdf

معجم مصطلحات الجي بي أس باللغة العربية للدكتور جمعة داود:

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%7C_GPS%7C_Glossary%7C_Ar%7C_v1.pdf

معجم المصطلحات الجيوديسية باللغة العربية للدكتور جمعة داود:

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%20Geodetic%7C_Glossary%20Ar.pdf

ترجمة إلي العربية لمقال عن العلاقة بين الجيويد و الجي بي أس:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/GPS%20and%20the%20Geoid%20Ar.pdf

**ثانيا: رسائل أكاديمية (ماجستير و دكتوراه) باللغة الانجليزية:**

GPS-based attitude determination, MSC, 2008, University of Linkopings, Sweden:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20PHD%20in%20Surveying/GPS%20for%20atitiude%20determination%20MSC%202008.pdf

Applications of high accuracy gravity and space geodesy methodologies, PhD, 2004, University of Texas at Dallas:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20PHD%20in%20Surveying/4D_Gravity_GPS%20Data%20PhD%202004.pdf

Heights, the geopotential and vertical datums, Ohio State University, Report No. 459, 2000:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20PHD%20in%20Surveying/459%20Heights%202000.pdf

Applications of parameter estimation and hypothesis testing to GPS network adjustments, Ohio State University Report No. 465, 2002:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20PHD%20in%20Surveying/465%20GPS%20Net%20Adj%202002.pdf

Temporal and spatial analysis of continuous GPS observations, Ph.D, 2005, Norwegian University of Science and Technology:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20PHD%20in%20Surveying/Continous%20GPS%20Analysis%20PhD%202005.pdf

An analysis on the optimal combination of geoid, orthometric and ellipsoidal height data, PhD, 2003, University of Calgary, Canada:

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20PHD%20in%20Surveying/PhD%20Canada%202003%20H_h_N%20Combin.pdf
Robustness analysis of geodetic networks, PhD, 2006, University of Calgary, Canada:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20PHD%20in%20Surveying/Roubst%20Geo_Nets%20PhD2006.pdf

Regional geoid determination methods for the era of satellite gravimetry: Numerical investigations using synthetic earth gravity models, PhD, 2004, Royal Institute of Technology, Sweden:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20PHD%20in%20Surveying/Geoid%20by%20Satt_Gravity%20PhD_2004.pdf

Corrective Surface for GPS-levelling in Moldova, MSC, 2006, Royal Institute of Technology, Sweden:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20PHD%20in%20Surveying/Geoid%20for%20GPS%20MSC_2006.pdf

Precise gravimetric geoid model for Iran based on GRACE and SRTM data and the least-squares modification of Stokes' formula with some geodynamic interpretations, PhD, 2006, Royal Institute of Technology, Sweden:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20PHD%20in%20Surveying/Geoid%20of%20Iran%20PhD%202006.pdf

Undifferenced GPS for deformation monitoring, MSC, 2006, Royal Institute of Technology, Sweden:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20PHD%20in%20Surveying/GPS%20in%20Deformation%20MSC%202006.pdf

Establishment of a high accuracy geoid correction model and geo-data edge match, PhD, 2003, Iowa State University:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20P

HD%20in%20Surveying/GPS_Net%20and%20Geoid_Correction%20PhD%202003.pdf

The transformation of GPS into BAP heights: Combining NAP, GPS, and geoid heights to compute a height reference surface, MSC, 2006, Delft University of Technology, The Netherlands:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20PHD%20in%20Surveying/Height%20Transformation%20MSC%202006.pdf

Radar altimeter calibration using GPS water level measurements, MSC, 2004, Ohio State University:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20PHD%20in%20Surveying/OSU469%20Altimeter%20Calibration%20by%20GPS%202004.pdf

GPS buoy campaigns for vertical datum improvement and radar altimeter calibration, MSC, 2004, Ohio State University:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20PHD%20in%20Surveying/OSU470%20GPS%20V_D%20Improv%20and%20Altimeter%20Calibration%202004.pdf

Determination and characteristics of 20th century global sea level rise, MSC, 2006, Ohio State University:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20PHD%20in%20Surveying/Sea%20Level%20Rise%20OSU2006.pdf

Bringing GPS into harsh environment for deformation monitoring, PhD 2007, New Brunswick University:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20PHD%20in%20Surveying/GPS%20Deformation%20PhD%202007.pdf

Moving base INS/GPS vector gravimetry on a land vehicle, PhD 2007, Ohio State University, USA:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20PHD%20in%20Surveying/INS_GPS%20Gravimetry%20PhD%202007.pdf

A comparison of local and wide area GNSS differential corrections disseminated using the network transport of RTCM via internet protocol, BSC 2007, New Brunswick University:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20PHD%20in%20Surveying/RTCM%20GNSS%20Diff_Correction%20BSC%202007.pdf

روابط لرسائل ماجستير و دكتوراه من قسم الجيوماتيك بجامعة كالجاري الكندية:
http://www.geomatics.ucalgary.ca/node/58

Tightly Coupled MEMS INS/GPS Integration with INS Aided Receiver Tracking Loops,
http://www.geomatics.ucalgary.ca/engo/files/engo/08.20270.YYang_.pdf
On the Attainable Accuracy of Multi-system GNSS Positioning in High-multipath Urban Environments ,
http://www.geomatics.ucalgary.ca/engo/files/engo/AEbner_TUGraz_Apr08.pdf
A Statistical Theory for GNSS Signal Acquisition ,
http://www.geomatics.ucalgary.ca/engo/files/engo/DBorio_Torino_Apr08.pdf
Measuring Seasonal Permafrost Deformation with Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar ,
http://www.geomatics.ucalgary.ca/engo/files/engo/08.20269.CButterworth.pdf
GPS L5 Software Development for High-Accuracy Applications ,
http://www.geomatics.ucalgary.ca/engo/files/engo/08.20268.CMongredien.pdf
Integration of GA-Based Multi-objective Optimization with VR-Based Visualization to Solve Landuse Problems ,
http://www.geomatics.ucalgary.ca/engo/files/engo/07.20267.MageshChandramouli.pdf

A regional analysis of GNSS levelling, MSC 2008, Stuttgart University, Germany
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20PHD%20in%20Surveying/GNSS%7C_Levelling%20Analysis%20MSC%202008.pdf

Processing of high-rate GPS data for real-time applications, MSC 2008, Stuttgart University, Germany:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20PHD%20in%20Surveying/High%7C_Rate%20RTK%20Process%20MSC2008.pdf

Surface Deformation Analysis of Dense GPS Networks Based on Intrinsic Geometry Deterministic and Stochastic Aspects, PhD 2007, Stuttgart University, Germany:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20PHD%20in%20Surveying/Surface%20Deformation%20GPS%20PhD%202007.pdf

Setting–up of GPS Reference Stations and Investigating the Effects of Antenna Radome, MSC 2003, Stuttgart University, Germany:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20PHD%20in%20Surveying/GPS%20Reference%20Stations%20MSC2003.pdf

High Resolution Regional Geoid Computation in The World Geodetic Datum 2000, PhD 1999, Stuttgart University, Germany:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20PHD%20in%20Surveying/Regional%20Geoid%20Computations%20PhD1999.pdf

**ثالثا: المواد التعليمية و البحوث المساحية والمواصفات الدولية (باللغة الانجليزية):**

Canadian GPS Guide:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Canada_GPS_Guide.pdf

WGS84 Final Definition 2000:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/WGS84%20Final%20Defintion%202000.pdf

DMA: Geodesy for the layman 1983:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/DMA%20Geodesy%20for%20Layman%20Tutorial%201983.pdf

Australia ICSM Geodetic Standards v.1.6 2004:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/Australia%20ICSM%20Geodetic%20Standards%20V1-6%202004.pdf

Australian Standards on Control Survey 2000:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/Australian%20Standards%20of%20Control%20Survey%202000.pdf

Canada Guidlines for RTK_GPS Surveys:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/Canada%20Guidelines_for_rtk_gps_surveys.pdf

Canada Positioning Standards 1996:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/Canada_Positioning%20Standards%201996.pdf

New Zealand Geodetic Network Design Specifications 2002:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/NZ%20Geod_Net%20Design%20Spec%202002.pdf

New Zealand Geodetic Survey Standards 2003:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/NZ%20Geodetic%20Survey%20Standards%202003.pdf

New Zealand Physical Network Design Specifications 2003:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/NZ%20Phys_Net%20Design%20Spec%202003.pdf

New Zealand Specifications of First-order Levelling GPS 2003:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/NZ%20secification%20of%20First_order%20GPS%202003.pdf

US California Geodetic Network GPS Specifications 1996:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/US%20California%20Horizontal%20Geodetic%20Net%20Specifications%201994.pdf

US FGCC Geodetic Survey Standards 1984:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/US%20FGCC%20Geodetic%20Survey%201984.pdf

US FGCC GPS Standards 1989:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/US%20FGCC%20GPS%20Standards%201989.pdf

US FGCC Levelling Specifications 1995:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/US%20FGCC%20Levelling%201995.pdf

US Geospatial Positioning Standards 1998:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/US%20Geospatial%20Positioning%20Standards%201998.pdf

US North Carolina GPS Standards 2006:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/US%20North%20Calorina%20GPS%20Standards%202006.pdf

USA Army Manual on Geodetic Surveys 2002:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/USA%20Army%20Geod_Surveys%202002.pdf

USA Army Manual on Topographic Surveys 1994:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/USA%20Army%20Topo%20Surveys%201994.pdf

US Army Cadastral GPS Standards 2001:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/USA%20Cadastral%20GPS%20Survey%20Standards%202001.pdf

USA Highway Dept. Standards for GPS 2005:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/USA%20Highway%20Dept%20Standards%20GPS%202005.pdf

Australia Specifications on MSL monitoring systems
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/Australia%20Spec%20on%20MSL%20moitoring%20systems.pdf

Australia Specifications on tide gauge stations
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/Australia%20Spec%20on%20tide%20guage%20stations.pdf

NZ Hydrographic standards 2001
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/Hydro_Stand%20New%20Zeland%202001.pdf

USA Hydrographic standards 2007
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/US%20Hydrographic%20Specs_2007.pdf

USA Army Photogrammetric standards 2002
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/USA%20Army%20Photog_Standards%202002.pdf

Utilization of GIS and RTK GPS Reference Networks for Machine Automation:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/GIS%20Training%20Vedio/GIS_RTK%20machine%20control%202008.pdf

An alternative approach for making maps compatible with GPS in Syria, 2006:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/GPS%20coord%7C_regression%20in%20Syeria%202006.pdf

DPOD2005: An extension of ITRF2005 for Precise Orbit Determination, Advances in Space Research, 2009.
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/ITRF2005%20Extention%202009.pdf

Analysis of some positional accuracy assessment methodologies, ASCE Journal of Surveying Engineering, May 2008.
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/ASCE2008%20Positional%20Assesment.pdf

CORS-TR for Precise GNSS positioning in Turkey, 2009:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Papers/GIS%7C_KSA%7C_Conf%7C_2009/7%7C_E%7C_KamilEren%7C_KSA.pdf

Determination of the orthometric height inside Mosul University campus by using GPS data and the EGM96 gravity field model, Journal of Applied Geodesy, 2008:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/EGM96%20in%20Iraq%202008.pdf

Ionospheric delay correction in Egypt, 2008:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Ionospheric%20delay%20Egypt%202008.pdf

Accuracy assessment study of static-GPS in south Egypt, 2008:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Static%7C_GPS%20South%20Egypt%202008.pdf

Tropospheric correction estimation in Egypt, 2008:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Tropo%7C_Correction%20Egypt%202008.pdf

US Army manual on Survey Markers and Monumentation, 1990:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/USArmy%20Survey%20Markers%20Monumentation.pdf

## رابعا: بحوث د. جمعة داود:

### (أ) الرسائل الأكاديمية:

رسالة الماجستير و عنوانها:
Some considerations in the adjustment of GPS baselines in the network mode, 1991
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20PHD%20in%20Surveying/Dawod%20GPS%5E_MSC%201991.pdf

رسالة الدكتوراه و عنوانها:
A national gravity standardization network for Egypt, 1998
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20PHD%20in%20Surveying/Dawod%20ENGSN%5E_PhD%201998.pdf

أيضا رأت زوجني د. هدي فيصل محمد أن تنشر - نسخة لوجه الله تعالي - من رسالتها للدكتوراه و عنوانها:
Realization and redefinition of the Egyptian vertical datum based on recent heterogeneous observations, 2005
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20PHD%20in%20Surveying/Hoda%5E_Mohamed%20PhD%202005.pdf

### (ب) البحوث العلمية باللغة العربية:

استخدام أحدث تقنيات الرصد على الأقمار الصناعية لتحديد حجم المنخفضات لمشروعات إدارة الموارد المائية ، ٢٠٠٢
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Papers/Dawod%20GPS%5E_Depression%5E_Vol%202002.pdf

دراسة الفروق بين مناسيب رخامات الري و مناسيب روبيرات المساحة لمحطات قياس مناسيب المياه علي نهر النيل ، ٢٠٠٥
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Papers/Dawod%20Nile%20Gauges%20and%20MSL%202005.pdf

**(ج) البحوث العلمية باللغة الانجليزية:**

Towards the redefinition of the Egyptian geoid: Performance analysis of recent global geoid models and digital terrain models, 2008
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Analyiz%20Global%20Geoids%202008.pdf

Fitting gravimetric local and global quasi-geoids to GPS/levelling data: The role of geoid/quasi-geoid variations in Egypt, 2008
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Geoid%20QuasGeoid%202008.pdf

Estimation of Sea Level Rise Hazardous Impacts in Egypt within a GIS Environment, 2008
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20GIS%20for%20MSL%202008.pdf

Assessment of a cost-effective GPS data processing alternative in Egypt utilizing international on-line processing services, 2007
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Assesment%20on%5E_line%20GPS%202007.pdf

Evaluation of River Nile high flood effects by Geographic Information System, 2007
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20GIS%5E_Nile%20Floods%202007.pdf

New strategies in the utilization of GPS technology for mapping and GIS activities in Egypt, 2007
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20New%20GPS%20strategies%202007.pdf

Enhancing the integrity of the national geodetic data base in Egypt, 2005
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Geo%5E_Net%20in%20Egypt%20FIG%202005.pdf

Developing a precise geoid model for hydrographic surveying of the River Nile, 2005
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Nile%5E_Geoid%202005.pdf

Assessment and modelling of sea level rise and metrological changes in Egypt, 2005
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Sea%20Level%20Rise%20in%20Egypt%202005.pdf

Productive GPS topographic mapping for national development projects in Egypt, 2003
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Top%5E_Surv%20GPS%202003.pdf

Proposed standards and specifications for GPS geodetic surveys in Egypt, 2003
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20GPS%20Standards%202003.pdf

Modernization plan of GPS in 21st century and its impacts on surveying applications, 2003
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Modernization%20of%20GPS%202003.pdf

Efficiency of new solutions for surveying and mapping problems in integrated water resources management, 2003
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Navig%20GPS%20Transf%202003.pdf

Establishment of precise geodetic control networks for updating the River Nile maps, 2003
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Nile%5E_GPS%5E_Network%202003.pdf

A Precise Integrated GPS/Gravity Geoid Model for Egypt, 2002
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20SRI%5E_Geoid%202002.pdf

The Establishment of the First Modern Sea Level Monitoring System in Egypt, 2002
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20MSL%20System%20Egypt%202002.pdf

The magnitude and significance of long-term sea level rise in Egypt from a geodetic perspective, 2001
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20MSL%20Rise%20in%20Egypt%202001.pdf

Quality control measures for the Egyptian National Gravity Standardization Network, 2000
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20QC%20of%20ENGSN97%202000.pdf

Optimum geodetic datum transformation techniques for GPS surveys in Egypt, 2000
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20GPS%20Transformation%202000.pdf
Efficiency of GPS techniques in national applications, 1999
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20GPS%20in%20Nat%5E_Project%201999.pdf

Increasing the reliability of GPS geodetic networks, 1995
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Outliers%20in%20GPS%201995.pdf

A method for detecting no-check observations in GPS networks, 1992
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20GPS%20No%5E_Check%201992.pdf

On the use of pseudo-Kinematic GPS satellite positioning technology in surveying reclaimed lands in Egypt, 1992
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Pseudo%5E_Kin%20GPS%201992.pdf

**(د) المقالات العلمية:**

The Egyptian National Gravity Standardization Network (ENGSN97), 2001
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Article%5E_ENGSN97%202001.pdf

دقة أجهزة النظام العالمي لتحديد المواقع GPS المحمولة يدويا وتطبيقاتها في بناء نظم المعلومات الجغرافية GIS ، ٢٠٠٨
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Papers/Dawod%20Article%5E_GPS%20Handy%202008.pdf

# ملحق ٢
# معجم مصطلحات الجي بي أس[1]

### 2D Operation Mode
وضع التشغيل ثنائي الأبعاد
استعمال جهاز الجي بي أس في وضع يسمح فقط بتحديد الإحداثيات ثنائية الأبعاد (أي الإحداثيات الأفقية فقط) والذي يتطلب رصد علي الأقل ثلاثة أقمار صناعية.

### 3D Operation Mode
وضع التشغيل ثلاثي الأبعاد
استعمال جهاز الجي بي أس في وضع يسمح بتحديد الإحداثيات ثلاثية الأبعاد (أي الإحداثيات الأفقية وأيضا الاحداثي الرأسي) والذي يتطلب رصد علي الأقل أربعة أقمار صناعية.

### Absolute Positioning
التحديد المطلق للموقع أو الإحداثيات
قدرة جهاز الجي بي أس علي حساب قيم إحداثيات الموقع دون الحاجة لجهاز آخر كمرجع. ويسمي أيضا تحديد موقع نقطة Point Positioning

### Accuracy
الدقة
مقياس لمدي قرب إحداثيات الجي بي أس المحسوبة إلي قيمة الإحداثيات الحقيقية لهذا الموقع.

### Acquisition Time
زمن الاكتساب
الزمن الذي يستغرقه جهاز الجي بي أس حتى يتعامل مع إشارات الأقمار الصناعية و يحدد الموقع أو يحسب إحداثياته.

### Altimeter
مقياس الارتفاع
جهاز يسمح بقياس الارتفاع من خلال قياس الضغط الجوي [بعض أجهزة الجي بي أس وخاصة الملاحية يوجد داخلها هذا الجهاز].

### Ambiguity
الغموض
العدد المجهول للدورات الكاملة للموجة الحاملة للإشارة بين القمر الصناعي وجهاز الاستقبال. أيضا يسمي: غموض الدورة Cycle Ambiguity

### Anywhere Fix
الحساب في أي مكان
القدرة المطلقة لجهاز الاستقبال لحساب الإحداثيات دون إعطاؤه مسبقا الموقع التقريبي أو الزمن.

[1] ترجمة المؤلف لفصول المصطلحات Glossary في عدة مصادر علمية باللغة الانجليزية

Antenna
أنتنا أو هوائي
الجزء في جهاز استقبال الجي بي أس المختص باستقبال إشارات الأقمار الصناعية وتحويلها إلي المعالج الرياضي داخل الجهاز الذي يقوم بإجراء الحسابات الرياضية اللازمة لتحديد الموقع.

Anti-spoofing (A/S)
ضد التجسس
تقنية تشفير مطورة بواسطة وزارة الدفاع الأمريكية بغرض عدم السماح للمستخدمين المدنيين باستقبال أو التعامل مع الشفرة الدقيقة (المعروفة باسم الشفرة P) للأقمار الصناعية.

Almanac Data
بيانات التقويم
بيانات يبثها كل قمر صناعي عن مداره و حالته وأيضا عن مدارات باقي الأقمار الصناعية في منظومة الجي بي أس. تسمح بيانات التقويم لجهاز الاستقبال من التعامل مع الأقمار الصناعية بسرعة بمجرد أن يتم تشغيل الجهاز.

Apogee
نقطة الأوج
نقطة في مدار القمر الصناعي يبلغ عندها أقصي بعد أو مسافة من الأرض.

Atomic Clock
ساعة ذرية
نوع الساعة الموجودة في أقمار الجي بي أس، وهي ساعة دقيقة جدا جدا وهي أما ساعة من نوع السيزيوم أو ساعة من نوع الرابيديوم.

Auto-correlation
الترابط - أو الارتباط - الآلي
بالقياس إلي شفرة معينة ، فهو رسم بياني أو توقيع لحاصل ضرب تسلسل الضوضاء لإشارة القمر الصناعي في نسخة مؤخرة delayed copy منه.

Azimuth
انحراف
الاتجاه – أو الزاوية - الأفقي الذي يصنعه الخط الواصل بين نقطتين علي سطح الأرض مع اتجاه الشمال (أو الجنوب) مقاسا في اتجاه دوران عقرب الساعة. وله أسم آخر هو Bearing

Bandwidth
عرض التردد
مقياس لعرض تردد إشارة معينة ، يقاس بوحدات الهرتز.

### Baseline
خط القاعدة
المتجه vector ثلاثي الأبعاد (فرق س ، فرق ص ، فرق ع) بين أي نقطتين الناتج أو الذي تم حسابه من خلال بيانات الجي بي أس.

### Base Station
نقطة أساسية
وتسمي أيضا نقطة مرجعية Reference Station ، وهي نقطة ثوابت أرضية مساحية معلومة الإحداثيات. تكون فائدتها الأساسية أن جهاز جي بي أس يقف عليها مما يسمح له بتحديد قيمة خطأ الإحداثيات للأقمار الصناعية في كل لحظة من لحظات الرصد (بمقارنة الإحداثيات المحسوبة من قياسات الجي بي أس بالإحداثيات المعلومة لهذه النقطة) ومن ثم يمكن استخدام هذا التصحيح في تحديد قيمة خطأ الإحداثيات لجهاز جي بي أس يرصد (في نفس فترة الرصد) نقطة أو نقاط أخري غير معلوم إحداثياتها.

### Beat Frequency
التردد الغالب
واحد من ترددين إضافيين نحصل عليهما عند خلط إشارتين من ترددين مختلفين ، وهو يساوي مجموع أو الفرق بين الترددين الأصليين.

### Binary Pulse Code Modulation
النبض الرقمي لتعديل الشفرة
هو تعديل ثنائي الحالة للنبض باستخدام سلسلة من الأرقام أو الشفرات ، و يتم تمثيل التعديل باستخدام إما ١ أو صفر ولكلا منهما معني محدد.

### Binary Bi-phase Modulation
التعديل الرقمي للطور
تغير طور الإشارة علي تردد ثابت بدرجة إما تساوي صفر أو تساوي ١٨٠ ، ويتم تمثيل التغير بقيم صفر أو ١ علي الترتيب.

### Binary Code
شفرة رقمية
نظام يستخدم في الاتصالات حيث يتم تحيد معني محدد لسلاسل رقمية تتكون من مجموعة من العدد صفر أو مجموعة من العدد ١.

### Broadcast Ephemeris (or Ephemerides)
البيانات المذاعة أو المبثوثة
البيانات (المتعلقة بالمدار) التي تبثها أقمار الجي بي أس.

### C/A Code
شفرة الاكتساب الخشن C/A
الشفرة القياسية المسماه الاكتساب الخشن Course Acquisition المعروفة اختصارا باسم C/A وتعرف أيضا باسم الشفرة القياسية وأيضا باسم الشفرة المدنية (لأنها هي الشفرة المتاحة لمستخدمي أو أجهزة الجي بي أس للمدنيين). تحتوي هذه الشفرة علي بيانات

(مدارات) أقمار الجي بي أس علي تردد يساوي ١٠٢٣ ولها معدل chipping rate يساوي ١.٠٢٣ ميجاهرتز وبتالي فأن فترتها الزمنية تساوي ١ مللي ثانية (أي ١ من ألف من الثانية).

Carrier
الموجة الحاملة
موجة راديو عالية التردد لها علي الأقل خاصية واحدة (تردد frequency أو اتساع amplitude أو طور phase) ويمكن أن تتغير بتعديل modulation. عامة يكون طول الموجة الحاملة أقصر من طول الشفرات codes.

Carrier Beat Phase
الطور المعدل للموجة الحاملة
الفرق في الطور phase بين الموجة الحاملة لإشارة القمر الصناعي والموجة المماثلة التي يتم توليدها داخل جهاز الاستقبال.

Carrier Phase
طور الموجة الحاملة
قياس الطور للموجة الحاملة ، وغالبا يتم تحويل قيمة النسبة المئوية إلي ملليمترات.

Carrier Frequency
التردد الحامل
تردد الناتج – الأساسي غير المعدل – الصادر من جهاز راديو.

Cartesian/Geo-centric Coordinates
الإحداثيات الكارتيزية أو المركزية
نظام لتحديد الإحداثيات المتعامدة ، يعتمد علي: مركز النظام هو مركز الأرض ، المحور السيني x والمحور الصادي y يكونا في مستوي دائرة الاستواء بحيث أن المحور السيني يمر بخط طول جرينتش ، المحور الراسي z ينطبق مع محور دوران الأرض.

Channel
قناة
تتكون القناة في جهاز الجي بي أس من المكون المادي hardware والبرامج software التي تسمح باستقبال إشارة قمر صناعي واحد علي أحد ترددي الموجة الحاملة (أي أن جهاز الجي بي أس يحتوي عدد من القنوات بعدد الأقمار الصناعية التي يمكنه استقبال بياناتها في نفس اللحظة).

Chip
رقاقة
أ- أقل زمن استقبال لمعلومة bit (إما صفر أو ١) في النظام الرقمي تكون في تردد معين.
أو
ب- رقاقة مربعة صغيرة ورقيقة جدا والتي عليها يتم تكوين دائرة كهربائية.

### Clock Bias
خطأ الساعة
الفرق بين الزمن الذي تعطيه الساعة و الزمن الحقيقي.

### Code
شفرة
نظام لتمثيل المعلومات مع قواعد لاستعماله.

### Code Receiver
مستقبل الشفرة
جهاز استقبال جي بي أس يعتمد علي استقبال قياسات الشفرة (سواء الشفرة المدنية C/A أو الشفرة العسكرية P) كما أنه يستخدم البيانات – مدارات الأقمار الصناعية - المذاعة broadcast ephemeris

### Codeless Receiver
مستقبل غير شفري
جهاز استقبال جي بي أس لا يعتمد علي الشفرة ، كم أنه لا يسجل البيانات المذاعة. لذلك فقبل حساب خط القاعدة يجب الحصول علي ملف للبيانات (مدارات الأقمار الصناعية) من أي مصدر خارجي.

### Collimate
تمركز أو احتلال نقطة
ضبط الجهاز المساحي أعلي علامة مساحية أرضية (بلغة أو مصطلحات المساحة نقول: احتلال النقطة!).

### Complete Instantaneous Phase Measurement
القياس الكامل اللحظي للطور
قياس الطور المعدل للإشارة الحاملة الذي يحتوي علي عدد دورات الطور منذ أول قياس أو أول صدور. أنظر: غموض الدورة الصحيح.

### Control Points
نقاط التحكم
النقطة أو النقاط معلومة الإحداثيات. ويتم استخدام هذه الإحداثيات – كقيم ثابتة موثوق بها – في الأعمال المساحية اللاحقة.

### Control Segment
الجزء المتحكم
شبكة ( من ٥ ) نقاط مراقبة و تحكم عالمية لتقنية الجي بي أس لتضمن دقة مدارات الأقمار الصناعية وساعاتها الذرية ، و تقع نقطة التحكم المركزية في ولاية كلورادو بأمريكا.

## Correlation Type Channel
قناة ارتباطيه النوع
قنـاة تـستخدم الارتبـاط – أو التـرابط – لـضمان التـزامن بـين الـشفرة أو الموجـة المولـدة داخـل المستقبل و الشفرة أو الموجة القادمة من القمر الصناعي.

## Cutoff Angle
زاوية القطع
تسمي أيضا زاويـة القنـاع Mask Angle ، أقل قيمـة مقبولـة لزاويـة ارتفـاع القمـر الـصناعي الذي نستقبل إشاراته. يتم تحديد قيمة زاوية القطع – داخل جهاز الجي بـي أس – بحيث أنه لا يسجل أو يتعامل مع أي إشارات للأقمار الصناعية التي يقل ارتفاعها عن مستوي الأفق عن هذه القيمة ، وذلك بغرض تفادي الإشارات القريبة من الأفق حيث يكون تأثير الغلاف الجوي كبير علي الإشارات مما يؤدي لسوء دقة تحديد الموقع [غالبا تكون قيمة زاوية القطع ١٥ درجة أو أقل].

## Cycle Ambiguity
غموض الدورة
أنظر: الغموض Ambiguity.

## Cycle Slip
خطأ الدورة
عدم استمرارية الموجـة الحاملـة للإشـارة التـي يـتم قياسـها نتيجـة عـائق معين منـع الموجـة مـن الوصول لجهاز الاستقبال.

## D-Code (Data Message)
الشفرة د (رسالة البيانات)
هي رسالة – ١٥٠٠ بايت – تكون داخل إشـارة الجـي بـي أس تحمل بيانـات عن مواقـع القمـر الصناعي وتصحيح الساعة وكفاءة القمر ، كما أنها تحتوي معلومـات عن بـاقي الأقمـار الصناعية في منظومة الجي بي أس.

## Datum
المرجع أو البيان
نظـام مرجعـي - أفقـي أو رأسـي – للقياسـات و الحـسابات المساحية. يـتم اسـتخدام مجموعـة مـن العناصر ونقاط التحكم للتحديد الدقيق ثلاثي الأبعاد لشكل الأرض. يحدد المرجـع أجـزاء من نظام الإحداثيات الجغرافية الذي يكون الأساس لنظام إحداثيات مستوية. عامة تكون المراجع الأفقيـة منسوبة لالبسويد ellipsoid (اقطـع النـاقص أو الـشكل البيـضاوي) أو لشبكة إحداثيات مترية. أما المراجع الرأسية فتكون مرجعة إلي الجيويد (الـشكل الحقيقيـة للأرض). يسمي أحيانا المرجع الجيوديسي Geodetic Datum

## Datum Transformation, Geographic Transformation
تحويل المراجع (أو التحويل الجغرافي)
طريقة رياضـية لتحويـل البيانـات (الإحداثيات) بين نظـامي إحداثيات جغرافيـة أي بـين مـرجعين مختلفين.

Deflection of the Vertical
انحراف الرأسي
الزاوية بين الاتجاه العمودي علي الجيويد (خط الشاغول) والاتجاه العمودي علي الاليبسويد.

Delay Lock
قفل التأخير
تقنية لارتباط الشفرة حيث يتم مقارنة الشفرة القادمة من القمر الصناعي مع نسختين (أحدهما مبكرة والثانية متأخرة) من الشفرة المرجعية التي يتم توليدها داخل جهاز الاستقبال.

Differencing
توليد اختلاف أو فروق
أسلوب مستخدم في حسابات خط القاعدة لتحديد قيمة غموض الدورة وتقليل عدد مصادر الأخطاء التي تشمل تغير الذبذبة و أخطاء الغلاف الجوي. يقوم هذه الأسلوب علي توليد فروق لقياسات الموجة الحاملة سواء من خلال فروق الزمن أو فروق التردد أو فروق المستقبلات أو فروق الأقمار أو أي توليفة من الفروق السابقة.

وأشهر أنواع الفروق هي كالآتي:

Single difference between receivers
الفرق الأحادي بين أجهزة الاستقبال
الفرق اللحظي في الموجة الحاملة للإشارة مقاسا بواسطة جهازين استقبال جي بي أس يستقبلان نفس الإشارات في نفس اللحظة.

Double difference between receivers and between satellites
الفرق الثنائي بين أجهزة الاستقبال والأقمار الصناعية
الفرق اللحظي في الموجة الحاملة للإشارة لقمرين صناعيين مقاسا بواسطة جهازين استقبال جي بي أس يستقبلان نفس الإشارات في نفس اللحظة. أي أن الفرق الثنائي هو الفرق بين ٢ فرق أحادي لقمرين صناعيين عند نفس اللحظة.

A triple difference between receivers, between satellites, and between epochs
الفرق الثلاثي بين أجهزة الاستقبال والأقمار الصناعية واللحظات
الفرق اللحظي في الموجة الحاملة للإشارة لقمرين صناعيين مقاسا بواسطة جهازين استقبال جي بي أس يستقبلان نفس الإشارات عند لحظتين مختلفتين. أي أن الفرق الثلاثي هو الفرق بين ٢ فرق ثنائي لقمرين صناعيين في لحظتي رصد متتاليتين.

Differential Positioning
التحديد التفاضلي للمواقع (أو الإحداثيات)
تحديد موقع أو إحداثيات نقطة نسبة لموقع نقطة مرجعية حيث يكون جهازي استقبال جي بي أس يرصدوا الإشارات عند كلا النقطتين في نفس اللحظة.

Differential GPS (DGPS)

الجي بي أس التفاضلي

هو امتداد لمنظومة الجي بي أس باستخدام محطة أو محطات أرضية لبث المواقع أو الإحداثيات [غالبا يستخدم مصطلح DGPS في المساحة ليعبر عن وضع يكون فيه جهاز جي بي أس ثابت علي نقطة معلومة وآخر متحرك وبأسلوب معين يمكن الاستفادة من إحداثيات النقطة المعلومة لزيادة دقة الإحداثيات المحسوبة للنقطة المجهولة].

Dilution of Precision (DOP)

تخفيف – أو معامل - الدقة

مقياس للتأثير الهندسي لعدم الدقة في تحديد أي موقع.

أشهر أنواع DOP هي:

GDOP

التخفيف الهندسي للدقة

مقياس الدقة في الموقع ثلاثي الأبعاد وأيضا الزمن.

PDOP

التخفيف الموقعي للدقة

مقياس الدقة في الموقع ثلاثي الأبعاد.

HDOP

التخفيف الأفقي للدقة

مقياس الدقة في الموقع ثنائي الأبعاد أي الأفقي.

VDOP

التخفيف الرأسي للدقة

مقياس الدقة في الموقع الرأسي أي الارتفاع.

RDOP

التخفيف النسبي للدقة

مقياس الدقة النسبي أي جودة خط القاعدة.

Doppler Shift

فرق دوبلر

التغير في تردد الإشارة القادمة نتيجة تغير معدل المسافة بين القمر و جهاز الاستقبال (أول من تحدث عنه العالم دوبلر ولذلك سمي باسمه). أنظر أيضا: الطور المعدل للموجة الحاملة.

Dynamic Positioning

التحديد الديناميكي للمواقع أو الإحداثيات

أنظر: التحديد المتحرك للمواقع Kinematic Positioning

### Ellipsoidal Height
الارتفاع الاليبسويدي
ارتفاع أي نقطة عن سطح الاليبسويد. يسمي أيضا الارتفاع الجيوديسي Geodetic Height

### Fast Switching Channel
القناة سريعة التحول أو التغير
قناة تغير أو تحول لها معدل زمني صغير بدرجة تكفي لتحديد (من خلال برنامج حساب) الجزء الصحيح من طور الموجة الحاملة.

### Fractional Instantaneous Phase Measurement
قياس الجزء اللحظي للطور
مقياس لطور الموجة الحاملة للإشارة لا يحتوي أي جزء صحيح لعداد الدورة ، وتكون قيمته بين الصفر و الواحد. أنظر أيضا: Complete Instantaneous Phase Measurement

### Frequency Band
مجموعة ترددات
مقدار – أو مجموعة - من الترددات في جزء محدد من الطيف الكهرومغناطيسي.

### Frequency Spectrum
الطيف الترددي
تشتت نطاق – بدلالة جزء من التردد – تردد موجة معينة لإشارة.

### Galileo
جاليليو
النظام الأوروبي للملاحة و تحديد المواقع بالرصد علي الأقمار الصناعية (تحت التطوير).

### Geoid
الجيويد
السطح الأساسي في علم الجيوديسيا ويعرف بأنه: سطح متساوي الجهد equipotential لمجال الجاذبية الأرضية الذي يمكن تقريبه – بدرجة كبيرة – بمستوي متوسط سطح البحر Mean Sea Level أو المعروف باسم MSL (الفرق بين الجيويد و MSL في حدود ١-٢ متر). الجيويد هو المرجع الجيوديسي الرأسي للارتفاعات الأرثومترية Orthometric Heights أو المناسيب [شكل الجيويد هو الشكل الحقيقي للأرض لكنه شكل متعرج غير منتظم وليس له معادلات حسابية لوصفه وبالتالي لا يمكن استخدامه في حسابات المساحة وتحديد المواقع و إنشاء الخرائط ولذلك نستعيض عنه – حسابيا - بالالبسويد].

### Geodetic Height
الارتفاع الجيوديسي
ارتفاع أي نقطة عن سطح الاليبسويد. يسمي أيضا الارتفاع الاليبسويدي Ellipsoidal Height

Geoidal Height
الارتفاع الجيويدي ، يرمز له N
الفرق بين الارتفاع الارثومتري (يرمز له H) و الارتفاع الجيوديسي (يرمز له h). يسمي أيضا حيود الجيويد Geoidal Undulation [ العلاقة الرياضية أو المعادلة بين الارتفاعات الثلاثة هي: N = h – H ].

GLobal Orbiting NAvigation Satellite System (GLONASS)
جلوناس
النظام الروسي لتحديد المواقع بالرصد علي الأقمار الصناعية (أي المنافس الروسي للجي بي أس).

Global Positioning System (GPS)
النظام العالمي لتحديد المواقع المعروف اختصارا باسم الجي بي أس.

Global Navigation Satellite Systems (GNSS)
النظم الملاحية العالمية للأقمار الصناعية
أي نظام ملاحي عالمي لتحديد المواقع بالرصد علي الأقمار الصناعية [أي أن الجي بي أس و جلوناس و جاليليو يعدوا من نظم GNSS].

Handover Word
كلمة التحول
كلمة داخل رسالة القمر الصناعي تحتوي علي معلومة التزامن عند التحول من الشفرة المدنية C/A إلي الشفرة العسكرية P.

Independent Baselines
خطوط قاعدة مستقلة
خطوط قاعدة تم قياسهم من خلال فترات رصد sessions مستقلة.

Independent Observing Sessions
فترات رصد مستقلة
فترات رصد يمكن فيها إهمال تأثير أي خطأ مشترك يؤثر علي الأرصاد.

Ionospheric Refraction
الانكسار الأيوني
تأثر أي إشارة تمر في طبقة الأيونوسفير (أحدي طبقات الغلاف الجوي التي تتميز بعدم استقرار الايونات فيها) وخاصة في الزمن مقارنة بنفس زمن مرورها في الفراغ. يؤثر الانعكاس الأيوني علي الطور طبقا لعدد الالكترونات التي تؤثر علي الإشارة الحاملة.

Interferometry
تبادلي
أنظر: Relative Positioning التحديد النسبي للمواقع.

### Kinematic Positioning

التحديد المتحرك للمواقع

يعبر عن التطبيقات التي نحدد فيها موقع هدف متحرك مثل سفينة ، طائرة ، ... الخ.

### Lane

حارة أو ممر ضيق

المساحة المحصورة بين خطين (أو سطحين) متجاورين من طور الموجة الحاملة للإشارة أو الفرق بين طورين لإشارتين مختلفتين.

### L Band

مجموعة ترددات L

تردد الراديو الممتد من ٣٩٠ ميجا هرتز إلي ١٥٥٠ ميجا هرتز.

### L1

تردد L1

التردد الأول الذي تبث عليه أقمار الجي بي أس إشاراتها ويساوي ١٥٧٥.٤٢ ميجاهرتز ، وعلي هذا التردد توجد الشفرة المدنية C/A والشفرة العسكرية P وأيضا الرسالة الملاحية للقمر الصناعي.

### L2

تردد L2

التردد الثاني الذي تبث عليه أقمار الجي بي أس إشاراتها ويساوي ١٢٢٧.٥٠ ميجاهرتز ، وتوجد علي هذا التردد الشفرة العسكرية P فقط.

### L5

تردد L5

التردد الثالث الذي ستبدأ أقمار الجي بي أس بث إشاراتها عليه عند اكتمال خطة تطوير منظومة الجي بي أس مع إطلاق الأنواع المحدثة من الأقمار الصناعية [غالبا في عام ٢٠٠٩م] وسيكون التردد مساويا ١١٧٦.٤٥ ميجا هرتز.

### L2C

شفرة مدنية جديدة – أو ثانية باعتبار الشفرة المدنية الأولي هي C/A – ستبدأ أقمار الجي بي أس بثها – علي التردد الثاني L2 - مع اكتمال خطة تطوير منظومة الجي بي أس مع إطلاق الأنواع المحدثة من الأقمار الصناعية [غالبا في عام ٢٠١١م].

### L2M

شفرة عسكرية جديدة – أو ثانية باعتبار الشفرة العسكرية الأولي هي P – ستبدأ أقمار الجي بي أس بثها – علي التردد الثاني L2 - مع اكتمال خطة تطوير منظومة الجي بي أس مع إطلاق الأنواع المحدثة من الأقمار الصناعية [غالبا في عام ٢٠١١م].

### Lock
اتصال مستمر
حالة الاستمرارية – وعدم الانقطاع - في استقبال إشارة راديو [من القمر الصناعي].

### Mask Angle
زاوية القناع
أنظر: Cutoff Angle

### Monitor Station
محطة مراقبة
واحدة من خمسة محطات تديرهم وزارة الدفاع الأمريكية لضبط منظومة الجي بي أس والتأكد من كفاءة عملها.

### Multipath
تعدد المسارات
ظاهرة – كأنها تشبه وجود ظلال علي شاشة التلفزيون – حيث تصل إشارة القمر الصناعي إلي جهاز الاستقبال بعد أن تكون مرت في مسارات متعددة. أي أن المسار سيكون أطول من المفترض (بين القمر و جهاز الاستقبال) بعد أن ينعكس من أي عائق مثل الأرض أو مبني أو مركب ... الخ وبالتالي فأنه عندما يصل إلي جهاز الاستقبال سيعطي مسافة (بين القمر الصناعي و الجهاز) أطول من المسافة الحقيقية مما سينتج معه خطأ في حساب الإحداثيات ، وهو الخطأ المسمي: خطأ تعدد المسارات.

### Multipath Error
خطأ تعدد المسارات
خطأ يحدث نتيجة تداخل موجات الراديو - التي تسافر من الأقمار الصناعية إلي أجهزة الاستقبال – من خلال مسارين لهم طولي موجة مختلفين. [يحدث هذا الخطأ في قياسات الجي بي أس نتيجة انكسار إشارة القمر الصناعي علي أي جسم أو عائق (مبني أو شجرة أو عائق معدني) ثم ارتدادها لتصل إلي جهاز الاستقبال].

### Multi-Channel Receiver
مستقبل متعدد القنوات
جهاز استقبال جي بي أس يحتوي عدة قنوات.

### Multiplexing Channel
قناة متعددة التحول أو متعددة الاستقبال
قناة في جهاز الاستقبال تسمح بالتحول بين إشارات عدة أقمار صناعية بمعدل يتزامن مع زمن رسالة قمر الجي بي أس (٥٠ بايت في الثانية أو ٢٠ مللي ثانية للبايت الواحد) أي أن التحول من رسالة قمر إلي الآخر تستغرق ٢٠ مللي ثانية. [هذا النوع من القنوات يقلل من تكلفة جهاز الاستقبال لان عدد قنوات الاستقبال سيقل لكنه غير مناسب للأجهزة الهندسية التي تتطلب دقة في استقبال رسالة كل قمر صناعي علي قناة مستقلة].

### NAV Data وأيضا تسمي Navigation Message
الرسالة الملاحية

رسالة – ١٥٠٠ بايت – سيبثها كل قمر صناعي بمعدل ٥٠ بايت/ثانية علي كلا من الترددين L1 و L2 ، وتحتوي هذه الرسالة علي بيانات: الزمن ، قيم تصحيح الساعة ، عناصر نموذج تصحيح خطأ الأيونوسفير ، و مدار القمر وكفائتة. وهذه البيانات هي التي تستخدم لحساب موقع أو إحداثيات المستخدم.

NAVSTAR
نافستار
اسم كل قمر صناعي في تقنية الجي بي أس ، وهي الأقمار التي تقوم شركة روكويل الأمريكية بتصنيعها.

Network Adjustment
ضبط الشبكات
أسلوب رياضي لتطبيق نظرية مجموع أقل المربعات Least-Squares حيث يتم التعامل مع جميع أرصاد (خطوط قواعد) الشبكة الجيوديسية وتطبيق الشروط الهندسية عليها بغرض الحصول علي أدق قيم لإحداثيات النقاط المرصودة [ضبط الشبكات هي من أهم خطوات حسابات الجي بي أس للتطبيقات المساحية الدقيقة].

NMEA Standards
مواصفات الوكالة الوطنية الأمريكية لالكترونيات الملاحة
مواصفات تحددها وتنشرها هذه الوكالة كخطوات قياسية لتركيب الرسائل الملاحية لكي تسمح بتعامل أجهزة استقبال الجي بي أس مع رسائل الأقمار الصناعية وأيضا التعامل مابين الأجهزة المختلفة [مثل صيغة ASCII لتبادل الملفات علي الحاسب الآلي دون الحاجة لبرنامج معين لقراءة محتويات الملف].

Observing Session
فترة رصد
الفترة الزمنية لتجميع بيانات الجي بي أس في نفس اللحظة بواسطة جهازي استقبال أو أكثر.

On-The-Fly (OTF)
علي الطائر
(الترجمة العربية الحرفية غريبة جدا!) ، هو أسلوب أو طريقة من طرق حساب خطأ غموض الطور Ambiguity Resolution بحيث تتم الحسابات بسرعة دون الحاجة لبقاء جهاز الجي بي أس علي النقطة المعلومة لفترة زمنية طويلة. يستخدم أسلوب OTF في بداية العمل الحقلي لتقنية التحديد الديناميكي للمواقع Kinematic Positioning حيث يتم نقل الجهاز من أول نقطة للنقطة الأخرى بسرعة بعد حساب قيمة غموض الطور للنقطة الأولي ، ويشترط لإتباع هذا الأسلوب أن يكون جهاز الجي بي أس من النوع ثنائي التردد أي يستطيع استقبال إشارات الترددين L1 و L2.

Orthometric Height
الارتفاع الأرثومتري
ارتفاع أي نقطة عن سطح الجيويد.
والعلاقة بين الارتفاع الارثومتري H و الارتفاع الجيوديسي h [ ارتفاع النقطة عن سطح الاليبسويد وهو الذي ينتج مباشرة من أرصاد الجي بي أس ] هي:

$h = H + N$

حيث N ارتفاع الجيويد أو حيود الجيويد.

### Outage

رفض أو خارج الحدود

حدوث زيادة في قيمة معامل الدقة DOP أكثر كمن قيمة معينة مطلوبة [أي يتم إظهار رسالة علي شاشة جهاز الجي بي أس أن الأرصاد مرفوضة لأنها خارج حدود الدقة المطلوبة أو المحددة سلفا].

### Perigee

الحضيض القمري

نقطة في المدار يكون عندها القمر الصناعي علي أقل بعد – أو مسافة – من مركز الأرض.

### Phase Lock

تقنية أو أسلوب حيث يتم تكرار طور إشارة القمر الصناعي – داخل جهاز الاستقبال - ومقارنته بطور إشارة القمر الصناعي الأصلية ثم استخدام فرق الطور لضبط الذبذبة الأساسية وحذف الفرق [هذا الأسلوب هو المتبع في أجهزة الجي بي أس الهندسية أو الجيوديسية مما يسمح بالحصول علي دقة عالية في حساب الإحداثيات ، لكنه في نفس الوقت يتطلب مواصفات تقنية عالية في هذه النوعية من الأجهزة مما يجعل سعرها أكثر بكثير من سعر الأجهزة الملاحية أو المحولة يدويا التي تعتمد فقط علي التعامل مع الشفرة وليس الطور].

### Phase Measurement

قياسات الطور

قياس يعبر عنه بنسبة مئوية بدلا من جزء الموجة ، مثال: طول الموجة يكون ١٠٠% ونصف طول الموجة يكون ٥٠% ... وهكذا.

### Phase Observable

رصده الطور

أنظر: Reconstructed Carrier Phase

### Precise or Protected Code (P)

الشفرة الدقيقة أو الشفرة المحمية أو الشفرة العسكرية المعروفة باسم P

الشفرة الموجودة علي الموجات الحاملة لإشارات الجي بي أس ، وتبث بمعدل ١٠.٢٣ ميجا هرتز والذي يكرر نفسه كل ٢٦٧ يوم. كل جزء يستمر أسبوع من هذه الشفرة يكون مخصصا لقمر صناعي واحد وغالبا يعاد ضبطه كل أسبوع [ هذه الشفرة أدق بمراحل من الشفرة المدنية C/A ، لكنها مشفرة ولا يمكن فكها من خلال أجهزة الجي بي أس المدنية و تحتاج لنوعية خاصة من الأجهزة لا يسمح بها إلا داخل الجيش الأمريكي فقط].

### Point Positioning

تحديد موقع نقطة

أنظر: Absolute Positioning

## Polar Plot
توقيع - أو رسم - قطبي
رسم دائري يتم بـه توقيـع ارتفـاع و انحـراف كل قمـر صـناعي بدلالـة الـزمن بالنسبة إلـي موقـع محدد.

## Positioning
تحديد الموقع
تحديد موقع (غالبا موقع جهاز استقبال جي بي أس) بالنسبة لنظام إحداثيات معين.

## Post-Processing Differential GPS
الجي بي أس التفاضلي المعالج لاحقا
أسلوب من أساليب الجي بـي أس التفاضـلي [أي جهـاز جـي بـي أس ثابـت علـي نقطـة معلومـة و جهاز آخر علي نقطة مجهولة يرصدوا الأقمار الصناعية في نفس الفتـرة الزمنيـة] حيـث تـتم الحـسابات و تحديـد الإحـداثيات لاحقـا فـي المكتـب باسـتخدام بـرامج حاسـب إلــي software [هو أفضل الأساليب المتبعة في التطبيقات المساحية الدقيقة].

## Precise Ephemeris
بيانات المدارات الدقيقة
البيانـات التـي يتم حسابها لمدارات الأقمـار الـصناعية بنـاءا علـي المعلومـات التـي تبثهـا الأقمـار الصناعية بالإضافة لمعلومات مراقبة الأقمار ذاتها [هذه البيانات يتم حسابها بعد مـرور ١٥ يوم مـن الرصـد حيث تقـوم جهـات دوليـة متخصـصة مثـل IGS بحساب المدارات الدقيقة لكل قمر صـناعي ، والتـي إذا تـم استخدامها فـي حسابات الجـي بـي أس ستعطي إحـداثيات أدق للنقـاط المرصـودة حيـث أن هـذه البيانـات تكـون أدق بكثيـر مـن بيانـات مـدارات الأقمـار التـي تبثهـا الأقمـار الـصناعية ذاتهـا Broadcast Ephemeris ، وغالبا يتم استخدام هذه البيانات الدقيقة في الأعمال المساحية التي تتطلب دقة عالية مثل إنشاء الشبكات الجيوديسية و مراقبة تحركات القشرة الأرضية].

## Precise Positioning Service
خدمة التحديد الدقيق للمواقع
التحديد الديناميكي للمواقع باستخدام جهـاز جـي أس واحـد فقط بالاعتمـاد علـي الـشفرة العسكرية الدقيقة P [أي هذه هو الأسلوب المتبع لأجهزة الجي بي أس العسكرية فقط].

## Projected Coordinates
الإحداثيات المسقطة
تحديد موقع أي نقطـة علـي الأرض فـي نظـام ثنـائي الأبعـاد ، وفيـه يتم تحديـد الموقـع بنـاءا علـي المسافتين من محور هذا النظام من خـلال محـورين أحـدهما المحـور الـسيني فـي الاتجـاه شرق-غرب و الآخر المحـور الـصادي في اتجاه شمال-جنوب. ونحتـاج لمعـادلات إسـقاط الخرائط لتحويـل الإحـداثيات الجغرافيـة (خـط الطـول و دائـرة العـرض) إلـي الإحـداثيات المسقطة.

### Projected Coordinate System
نظام إحداثيات مسقطة
نظام مرجعي لقياس المسافتين الأفقية و الرأسية من خريطة أفقية. غالبا يتم تحديد هذا النظام من خلال معادلات إسقاط الخرائط وتحديد اليسويد مرجعي كمرجع [مثال لنظم الإحداثيات المسقطة: نظام UTM].

### Projection
إسقاط
معادلة رياضية لتحويل أي موقع علي سطح الأرض المجسم (أي ثلاثي الأبعاد) إلي سطح الخريطة (ثنائي الأبعاد) ، مثال: معادلات تحويل الإحداثيات الجغرافية – خط الطول و دائرة العرض – إلي الإحداثيات الأفقية س ، ص. يجب ملاحظة أن الإسقاط يسبب تشوه في واحدة من الخصائص الفراغية: المسافة ، المساحة ، الشكل ، الاتجاه.

### Psedolite
نقطة جي بي أس افتراضية
نقطة جي بي أس أرضية تبث إشارات لها تركيب مماثل لإشارات قمر صناعي جي بي أس حقيقيي.

### Pseudo Random Noise (PRN)
ضجيج عشوائي زائف
عندما نصف شفرة معينة بهذا الاسم فهذا يدل علي لأن هذه الشفرة لها خصائص الضجيج العشوائي. وعندما نتحدث عن الأقمار الصناعية فأن PRN هو رقم محدد يعطي لكل قمر صناعي من أقمار الجي بي أس [مثال PRN 23 أي القمر الصناعي رقم ٢٣].

### Pseudorange
المسافة الزائفة
فرق الزمن لمطابقة نسخة شفرة جي بي أس (مولدة داخل جهاز الاستقبال) مع شفرة القمر الصناعي ذاته ، ويتم تحويل هذا الزمن إلي مسافة – بين القمر الصناعي وجهاز الاستقبال – بضربه في سرعة الضوء. فرق الزمن هذا يعني أننا نقوم بطرح زمن الإرسال (وقت خروج الإشارة من القمر الصناعي) من زمن الاستقبال (وقت وصول الإشارة إلي جهاز الاستقبال) وبالتالي فأن هذا الفرق الزمني يشتمل ضمنيا علي خطأ الزمن لكلا من القمر الصناعي و جهاز الاستقبال.

### Pseudorange Difference
فرق المسافة الزائفة
أنظر: Reconstructed Carrier Phase

### Real-Time Kinematic (RTK)
الرصد المتحرك اللحظي
أسلوب من أساليب الجي بي أس التفاضلي [أي جهاز جي بي أس ثابت علي نقطة معلومة و جهاز آخر علي نقطة مجهولة يرصدوا الأقمار الصناعية في نفس الفترة الزمنية] حيث تتم الحسابات و تحديد الإحداثيات في نفس لحظة الرصد عن طريق وجود أجهزة راديو

لاسلكي بين جهازي الجي بي أس [هو الأسلوب المتبع في تطبيقات التوقيع المساحي في الحقل].

Real-Time Differential GPS
الجي بي أس التفاضلي اللحظي
أسلوب من أساليب الجي بي أس التفاضلي [أي جهاز جي بي أس ثابت علي نقطة معلومة و جهاز آخر علي نقطة مجهولة يرصدوا الأقمار الصناعية في نفس الفترة الزمنية] حيث تتم الحسابات و تحديد الإحداثيات في نفس لحظة الرصد عن طريق وجود أجهزة راديو لاسلكي بين جهازي الجي بي أس [هو الأسلوب المتبع في تطبيقات التوقيع المساحي في الحقل]. الفرق بين أسلوب الجي بي أس التفاضلي اللحظي و أسلوب الرصد المتحرك اللحظي RTK أن الأول يعتمد علي قياسات الشفرة code بينما يعتمد الثاني علي قياسات الموجة الحاملة للإشارة مما يجعله – أي الأسلوب الثاني RTK – أدق من الأسلوب الأول.

Reconstructed Carrier Phase
الطور المعاد تركيبه للموجة الحاملة
هو فرق الطور بين طور الموجة الحاملة للإشارة القادمة من القمر الصناعي و طور الموجة المولدة داخل جهاز استقبال الجي بي أس. في التطبيقات الديناميكية (المتحركة) فأن هذا الفرق يتم في لحظة وصول شفرة القمر الصناعي ، مما يجعل هذا الفرق مقياس للتغير في علاقة القمر-المستقبل مابين لحظات رصد متتالية. أما في التطبيقات الثابتة (المساحية) فأن الفرق يتم في لحظات تحددها ساعة جهاز الاستقبال. والتغير في هذا الفرق يكون متأثرا بأخطاء فرق التزامن بين ذبذبات القمر الصناعي و جهاز الاستقبال. ويمكن إرجاع الطور المعاد تركيبه للموجة الحاملة علي أنه يساوي المسافة بين القمر الصناعي وجهاز الاستقبال بعد أن نقوم بحل قيمة غموض الدورة Phase Ambiguity .

Relative Positioning
التحديد النسبي للمواقع
أنظر: Differential Positioning

Receiver-Independent Exchange format (RINEX)
صيغة راينكس
صيغة تبادل البيانات دون الاعتماد علي نوع جهاز الاستقبال ، مما يسمح بتبادل ملفات أرصاد الجي بي أس التي تم رصدها بعدد من أنواع أجهزة الاستقبال وأن يقوم أي برنامج حسابات باستخدام هذه الملفات لحسب الإحداثيات [مثل صيغة ASCII لتبادل الملفات النصية بين برامج الحاسب الآلي].

S-Code
الشفرة S
اسم آخر للشفرة المدنية C/A

Satellite Constellation
وضع الأقمار الصناعية
وضع مجموعة الأقمار الصناعية في المدار.

Satellite Message

رسالة القمر الصناعي

أحيانا يطلق عليها اسم الشفرة Data or D Code) D). مجموعة من البيانات منخفضة التردد – ٥٠ هرتز – موجودة علي كلا الترددين الأول L1 والثاني L2 ، وتم تصميم هذه البيانات بحيث تخبر مستخدم الجي بي أس عن كفاءة و موقع القمر الصناعي ، ويمكن لجهاز الاستقبال قراءة هذه الرسالة واستخدامها في حساب موقعه أو إحداثياته في لحظة الرصد هذه.

Selective Availability (S/A)

الاتاحية المنتقاة

سياسة وزارة الدفاع الأمريكية لخفض دقة تقنية الجي بي أس للمستخدمين المدنيين [كانت هذه السياسة مستمرة منذ بدء تقنية الجي بي أس بحيث كانت دقة تحديد المواقع لحظيا أو ميدانيا في حدود ١٠٠ متر ، لكن توقفت وزارة الدفاع الأمريكية عن تطبيق هذه السياسة في عام ٢٠٠٠م بحيث أصبحت الدقة اللحظية بحد أقصي ٢٢ متر أفقيا وفي المتوسط تكون أقل من ١٠ متر فقط].

Simultaneous Measurements

القياسات المتبادلة

مجموعة من القياسات التي تتم في نفس اللحظة الزمنية.

Solution-Independent Exchange format (SINEX)

صيغةساينكس

صيغة تبادل نتائج الحسابات دون الاعتماد علي نوع برنامج الحسابات ، مما يسمح بتبادل ملفات نتائج حسابات الجي بي أس التي تم إجراؤها بعدد من أنواع برامج الحساب software وأن يقوم أي مستخدم أو جهة باستخدام هذه الملفات لتقييم النتائج.

Slow Switching Channel

القناة بطيئة التحول

قناة – داخل جهاز الاستقبال – لها فترة زمنية طويلة تجعلها قادرة علي تحديد قيمة الجزء الصحيح من الموجة الحاملة للإشارة.

Space Segment

جزء الفضاء

أحد مكونات تقنية الجي بي أس الثلاثة التي تشمل الأقمار الصناعية في الفضاء.

Spheroid

الاسفرويد

اسم آخر للالبسويد Ellipsoid

Standard Positioning Service (SPS)
خدمة تحديد المواقع القياسية
تحديد المواقع أو الإحداثيات باستخدام جهاز استقبال واحد بالاعتماد علي الشفرة المدنية C/A.
أنظر أيضا: PPS

Static Positioning
التحديد الثابت للمواقع أو الإحداثيات
تحديد موقع أو إحداثيات جهاز استقبال ثابت أي غير متحرك.

Stop-and-Go Kinematic Surveying
المسح المتحرك بطريقة قف-تحرك
تقنية من تقنيات رصد الجي بي أس حيث يكون هناك جهاز جي بي أس ثابت علي نقطة مساحة أرضية – معلومة الإحداثيات- بينما الجهاز الآخر يتحرك ليرصد نقطة تلو الأخرى من النقاط المطلوب تحديد موقعها وتكون مدة رصد كل نقطة فترة قصيرة ، بحيث يكون هناك أربعة أقمار صناعية علي الأقل يتم استقبال إشاراتها. والهدف من هذا الأسلوب أو التقنية هو تحديد مواقع – أو إحداثيات – هذه النقاط المجهولة [اعتمادا علي معرفة إحداثيات النقطة المعلومة التي يحتلها الجهاز الثابت].

Switching Channel
قناة متغيرة
قناة – داخل جهاز الجي بي أس – يمكن أن تتحول من رصد و متابعة قمر صناعي إلي رصد و متابعة قمر آخر.

Time Tag
علامة زمنية
الزمن المخصص أو المحدد لرصده حقيقية.

Translation
تحويل
أنظر: Differential Positioning

Troposphere
التروبوسفير
الطبقة الداخلية من الغلاف الجوي للأرض والتي توجد علي ارتفاع يتراوح بين ٦ و ١٢ ميل من سطح الأرض.

User Equivalent Range Error (UERE)
خطأ المسافة المعادل للمستخدم
مصطلح لدقة رصده جي بي أس حيث يعبر عن تأثير كلا من خطأ المدار وخطأ الزمن وخطأ جهاز الاستقبال. عندما تزيد قيمة هذا المصطلح UERE فتدل علي أن الاتاحية المنتقاة S/A قم تم تطبيقها علي إشارات الأقمار الصناعية.

User Segment
جزء المستخدم
جزء من أجزاء منظومة الجي بي أس له علاقة بالمستخدمين (أجهزة استقبال الجي بي أس).

Visible Plot
رسم المرئي
رسم أو توقيع لعدد الأقمار الصناعية التي تكون مرئية (أي متاحة للرصد) في موقع معين في يوم محدد.

Wide Area Augmentation System (WAAS)
نظام زيادة المناطق الشاسعة
نظام من الأقمار الصناعية و المحطات الأرضية تسمح ببث تصحيحات الجي بي أس بغرض الحصول علي دقة أعلي في تحديد المواقع [مثل: إنشاء محطات أرضية منتشرة علي مساحة كبيرة ويتم تركيب أجهزة جي بي أس ثابتة عند كل محطة معلومة الإحداثيات وتقوم هذه المحطات بحساب وبث تصحيح قياسات الجي بي أس من خلال أجهزة راديو لاسلكية بحيث أن مستخدم الجي بي أس يرصد الأقمار الصناعية و في نفس اللحظة – من خلال جهاز راديو لاسلكي متصل بجهازه – يستقبل التصحيحات من المحطات الأرضية ، وتكون النتيجة أنه يستطيع حساب إحداثيات موقعه بدقة أعلي من دقة الجي بي أس العادية مع أنه يستخدم جهاز واحد وليس الرصد التفاضلي اللحظي].

World Geodetic System 1984 (WGS84)
النظام الجيوديسي العالمي ١٩٨٤
هو المرجع الأساسي لتقنية الجي بي أس ، أي أن الإحداثيات الناتجة من الجي بي أس تكون منسوبة إلي WGS84 [يمكن بعد ذلك تحويلها إلي أي مرجع جيوديسي آخر بمعرفة قيم عناصر العلاقة الرياضية بين كلا المرجعين].

Y Code
الشفرة Y
الشفرة العسكرية P بعد تشفيرها.

Z-count Word
كلمة عداد Z
زمن القمر الصناعي الذي يكون في نهاية الرسالة الملاحية التي يبثها كل قمر من أقمار الجي بي أس.

Zero Baseline
خط القاعدة صفر
هو اختبار لقياس مدي كفاءة و دقة جهاز جي بي أس معين ، ويتم فيه توصيل جهازين جي بي أس إلي نفس الإنتنا Antenna .

# ملحق ٣
# المواصفات المصرية الجيوديسية المقترحة[2]

المواصفات Specifications and Standards من أهم مكونات الأعمال المساحية حيث أنها تحدد أسلوب و تفاصيل القياس و الحسابات بهدف الوصول لمستوي معين من الدقة بغض النظر عن اختلاف الأجهزة و المهندسين و ظروف الرصد ذاته. منذ عدة عقود تقوم الجهات الحكومية المسئولة عن العمل المساحي في الدول الغربية بإعداد كتيبات تشمل مواصفات الشبكات الجيوديسية – سواء الأفقية أو الرأسية أو ثلاثية الأبعاد – وأيضا تحدث هذه المواصفات كل فترة زمنية لتتوافق مع التقنيات المساحية الحديثة. تجدر الإشارة إلي أن هذه المواصفات الأوروبية و الأمريكية متاحة علي شبكة المعلومات الدولية الانترنت ، لكن مع الأسف لا توجد مواصفات عربية متاحة أو منشورة و خاصة لتطبيقات نظام الجي بي أس. المعاملات التالية تقدم مقترحا لمواصفات جيوديسية و للجي بي أس في مصر.

## ١- دقة شبكات الجى بى أس الجيوديسية:

يمكن تقسيم الشبكات الجيوديسية الوطنية باستخدام الجي بي أس - بصفة عامة - إلي مجموعتين فقط و ليس عدة مجموعات كما كان متبعا في الماضي:

أ- الشبكات الأساسية أو الدرجة الأولي: حيث تكون دقتها ٠.٥ سنتيمتر + ٠.١ جزء من المليون ، وهذه هي أدق درجات شبكات الثوابت الأرضية التي تكون المرجع الجيوديسي الوطني.

ب- شبكات الدرجة الثانية: حيث تكون دقتها ٠.٨ سنتيمتر + ١ جزء من المليون ، وتكون الثوابت الأرضية بمسافات أقل من مسافات الدرجة الأولي بحيث تغطي معظم الحدود الجغرافية للدولة.

## ٢- تصميم شبكات الجى بى أس الجيوديسية:

يتم تصميم شبكات الجي بي أس (توزيع النقاط و طرق بناء الثوابت الأرضية) بأخذ عدة عوامل في الاعتبار ومنها:

- التوزيع المتجانس الذي يغطي المنطقة الجغرافية بكاملها.
- تكوين عدة أشكال هندسية مغلقة (حلقات) تزيد من جودة الحسابات.
- توزيع النقاط علي مسافات متساوية بقدر الإمكان.
- معدل أطول خط قاعدة إلي أقصر خط قاعدة (في الشبكة) لا يزيد عن قيمة ٥ ومن الأفضل أن يكون أقل من ذلك بكثير.

---

[2] نشرت في بحث للمؤلف باللغة الانجليزية في:
Dawod, G., 2003b, Proposed standards and specifications for GPS geodetic surveys in Egypt, Water Science Magazine, No. 33, April. pp. 33-39.

## ٣- اختيار مستقبلات الجي بي أس:

يجب تتميز أجهزة الاستقبال التي تستخدم في إنشاء الشبكات الجيوديسية بالمواصفات الرئيسية التالية:

- أجهزة ثنائية التردد (تستقبل كلا ترددي الجي بي أس L1, L2 ).
- تستقبل كلا من الشفرة و الموجة الحاملة.
- تعمل في الوضع الثابت التقليدي.
- تعمل أيضا في الوضع التفاضلي (أي تستقبل التصحيحات من مصدر خارجي).
- متعددة القنوات بحد أدني ٢٤ قناة.
- ذاكرة داخلية أو خارجية تسمح بتخزين القياسات لمدة لا تقل عن ٨ ساعات رصد متواصلة.
- مصدر طاقة داخلي أو خارجي يسمح بتوفير الطاقة اللازمة للجهاز لمدة لا تقل عن ٨ ساعات رصد متواصلة.

## ٤- اختيار هوائيات الجي بي أس:

لتقليل التشوه في إشارات الأقمار الصناعية يجب أن يكون هوائي الاستقبال Antenna لجهاز الجي بي أس متمتعا بالمواصفات التالية:

- مقاوم لتأثير تعدد المسار Multipath بدرجة جيدة.
- دقة عالية في تحديد مركز – أو نقطة – التقاط الموجات Phase Center.
- حساس بدرجة عالية.
- سهل الضبط و التسامت أعلي النقطة الأرضية المرصودة.

## ٥- التخطيط المبدئي لإنشاء شبكات الجي بي أس:

يجب أخذ العوامل التالية في الاعتبار قبل بدء التنفيذ الفعلي لإنشاء شبكة جيوديسية بالجي بي أس بهدف ضمان الوصول لمستوي الدقة المطلوب لهذه الشبكة:

- تعيين و تحديد أقصي قدر من نقاط الثوابت الأرضية - معلومة الإحداثيات – في منطقة العمل للربط عليهم.
- تحديد قيمة أكبر و أقصر طول لخطوط القواعد الذين سيستخدمان في تصميم الشبكة لاحقا.
- تحديد مواقع نقاط التحكم المتوفرة.
- تحديد عدد أجهزة الاستقبال التي ستعمل آنيا simultaneously في فترة الرصد الواحد session.
- تحديد مدة فترة الرصد الواحدة.
- تحديد أنسب أوقات رصد الأقمار الصناعية التي تعطي أفضل قيمة لمعامل الدقة PDOP (بحيث يتراوح PDOP بين ٣ و ٥).
- توافر عدد من الرصدات المتكررة repeated measurements لبعض خطوط القواعد في الشبكة.

- تـوافر عـدد مـن مـرات احـتلال بعـض النقــاط بـأجهزة مختلفـة independent occupation وليس بنفس الجهاز كل مرة.

**٦- اختيار أماكن وطريقة تثبيت النقاط الأرضية:**

تشمل مواصفات اختيار و بناء نقاط الثوابت الأرضية ما يلي:

- سهولة الوصول لموقع النقطة.
- ضمان تواجد النقطة في هذا الموقع لفترة طويلة.
- أن يكون الموقع مناسبا للاستخدام المساحي.
- أن يكون البناء علي أرض صخرية صلبة و ثابتة.
- ألا توجد عوائق حول موقع النقطة في حدود ١٥° من مستوي الأفق.

**٧- مواصفات تصميم الشبكة:**

| البند | شبكات الدرجة الأولي | شبكات الدرجة الثانية |
|---|---|---|
| أقصي تباعد بين النقاط (كم) | ١٠٠ | ٥٠ |
| أقل عدد للنقاط | ٣ | ٣ |
| وجود عدد من الثوابت الرأسية (روبير أو BM) | ٤ علي الأقل | اختياري |
| أكبر عدد للخطوط في الحلقة | ١٠ | ١٠ |
| أقصي محيط الحلقة الواحدة (كم) | ١٠٠ | ١٠٠ |
| أقصي نسبة مئوية للنقاط ذات مرتين احتلال أو أكثر | ٥٠% | ٣٠% |
| أقل قيمة لدرجة الحرية degree of freedom (عدد الأرصاد – عدد المجاهيل) | ١٢ | ٩ |

**٨- مواصفات العمل الحقلي:**

أهم أخطاء العمل الحقلي تتركز في ضبط تسامت جهاز الاستقبال (أو الهوائي لبعض الأجهزة) فوق النقطة الأرضية و كذلك أخطاء قياس ارتفاع الجهاز عن الأرض ، لذلك فأن مواصفات العمل الحقلي تشمل:

- قياس و تسجيل ارتفاع الجهاز (أو ارتفاع الهوائي) مرة بالنظام المتري و أخري بالنظام الانجليزي ، وذلك قبل و بعد تشغيل الجهاز.
- في حالة وجود أكثر من شخص ، يقوم كل واحد بقياس ارتفاع الجهاز بنفسه.
- التأكد من ضبط أفقية و تسامت الجهاز قبل و بعد تشغيل الجهاز.
- تدوين الرقم التسلسلي serial number لكل جهاز و لكل هوائي في جدول الأرصاد الحقلية عند كل نقطة.
- بقدر الإمكان يجب توافر عدد من المرات لاحتلال نفس النقطة redundant occupations.
- من الأفضل تصوير كل نقطة – فوتوغرافيا أو رقميا – لضمان احتلال النقطة المطلوبة المسجل رقمها.

**٩- مواصفات الرصد الحقلي:**

| البند | شبكات الدرجة الأولي | شبكات الدرجة الثانية |
|---|---|---|
| أرصاد ثنائية التردد | نعم | اختياري |
| أقل عدد لأجهزة الاستقبال | ٣ | ٣ |
| أقل عدد للأقمار الصناعية المرصودة | ٤ | ٤ |
| زمن فترة الرصد (بالدقيقة) | ٩٠-١٢٠ | ٤٥-٩٠ |
| معدل الأرصاد sample rate (بالثانية) | ٢ | ٢ |
| أقل زاوية قناع Mask or Cut-Off أعلي من الأفق (بالدرجات) | ١٥° | ١٥° |
| أقل عدد لتكرار قياس ارتفاع الجهاز | ٢ | ٢ |
| أقصي فرق بين قياسين لارتفاع الجهاز (سم) | ٢ | ٢ |
| صورة فوتوغرافية للنقطة | نعم | نعم |

**١٠- مواصفات برنامج الحسابات:**

بصفة عامة يجب أن تتوافر لبرنامج حسابات أرصاد الجي بي أس المواصفات التالية:

- يقبل أرصاد كلا نوعي الأجهزة أحادية و ثنائية التردد.
- يقدم طرق يدوية و آلية لإجراء الحسابات.
- إجراء الحسابات لكلا من أرصاد المسافات الكاذبة وأرصاد طور الموجة.
- يدعم تحديد المواقع في أسليب التحديد المطلق ، خط القاعدة ، الشبكة.
- القدرة علي اكتشاف خطأ تغير الدورة cycle slip وحله.
- يدعم أساليب الفروقات الأحادية و الثنائية و الثلاثية.
- يقبل أكثر من ١٠ خطوط قواعد في الحلقة الواحدة.
- يعطي حلول ثابتة و غير ثابتة و ثلاثية.
- يقدم معاملات إحصائية تصف جودة كل حل.
- يدعم تغيير معاملات الحساب طبقا لاختيارات المستخدم.
- يدعم التعامل مع كافة أنواع الهوائيات و أجهزة الاستقبال.
- يقدم إمكانية ما قبل الرصد (أي يحسب قيم معامل الدقة DOP مثلا).
- يقبل أكثر من مصدر أو نوع لمدارات الأقمار الصناعية (المرسلة من الأقمار الصناعية ذاتها أو المدارات الدقيقة المحسوبة لاحقا).
- سهل الاستخدام من خلال قوائم menus بسيطة.

**١١- مواصفات حسابات أرصاد الجي بي أس:**

المواصفات التالية تقدم أساسيات تنفيذ حسابات أرصاد الجي بي أس و المعاملات التي يجب إتباعها للوصول للدقة المنشودة:

| البند | شبكات الدرجة الأولي | شبكات الدرجة الثانية |
|---|---|---|
| الاعتماد علي المدارات الدقيقة للأقمار الصناعية | نعم | اختياري |
| أقصي خطأ قفل الحلقة loop closure (سم) | ٢٥ | ٣٠ |
| أقصي خطأ قفل الحلقة loop closure (جزء من المليون ppm) | ١٢.٥ | ٢٥ |
| أقصي نسبة مئوية للأرصاد غير المقبولة | ١٠% | ١٠% |
| الانحراف المعياري لأي خط قاعدة (سم) | ٠.١ - ٢ | ١ – ٤ |

بعد تشغيل برنامج الحسابات والحصول علي نتائج حل كل خط قاعدة Base Line في الشبكة المرصودة و طبقا لقيم الخطأ التربيعي المتوسط Root Mean Square أو اختصارا RMS ونتيجة حل خطأ الغموض الصحيح فتوجد قواعد عامة لكيفية اختيار نوع الحل بناءا علي المسافات أو أطوال خطوط القواعد:

| قيمة RMS | المسافة (كم) | الغموض رقم صحيح integer؟ | التوصية |
|---|---|---|---|
| صغير | أقل من ٢٠ | نعم | استخدم الحل الثابت Fixed |
| كبير | أكبر من ٢٠ | نعم | الفحص مجددا ثم استخدام الحل الثابت Fixed |
| كبير | أقل من ٢٠ | نعم | إعادة الحسابات أو إعادة رصد هذا الخط مرة أخري |
| صغير | ٢٠-٦٥ | لا | استخدم الحل غير الثابت Float |
| كبير | أكبر من ٦٥ | لا | استخدم الحل الثلاثي Triple أو إعادة رصد هذا الخط مرة أخري |

## ١٢- مواصفات ضبط شبكات الجي بى أس:

تتم عملية ضبط الشبكات Network Adjustment في عدد من الخطوات المتسلسلة تتكون من:

أ- تحليل خطأ القفل في كل حلقة لضمان حدود قيمه طبقا للمواصفات المطلوبة،

ب- إجراء عملية ضبط غير مقيد Free Net Adjustment (عن طريق تثبيت إحداثيات نقطة واحدة فقط غالبا تكون اختيارية) لفحص جودة الأرصاد ذاتها.

ت- استخدام النتائج الإحصائية للضبط غير المقيد في اكتشاف أية أرصاد غير جيدة Outliers or Blunders وحذفها (عن طريق الاختبارات الإحصائية المعروفة مثل اختبار تاو أو اختبار مربع كاي).

ث- إجراء الضبط النهائي للشبكة Final Constrained Adjustment (سواء بتثبيت إحداثيات نقطة واحدة معلومة فقط Minimal-Constrained أو بتثبيت إحداثيات أكثر من نقطة معلومة Over-Constrained).

## ١٣- مواصفات توثيق نتائج شبكات الجي بي أس:

إن عرض و توثيق نتائج إنشاء شبكة جي بي أس يعد جزءا هاما من خطوات المشروع لوصف كافة المعاملات التي تم إتباعها في الحسابات والضبط والنتائج التي تم التوصل إليها. يجب أن تشمل وثائق المشروع المعلومات التالية:

- اسم المشروع و موقعه و أهدافه.
- شروط التصميم التي تم إتباعها وأهمها درجة شبكة الجي بي أس (درجة أولي أو ثانية طبقا للمواصفات).
- عناصر العمل الحقلي و تشمل: عدد الأجهزة المستخدمة ، طول فترة الرصد ، عدد مرات الاحتلال المتكرر للنقاط ، قيمة معامل الدقة PDOP ، جداول التسجيل الحقلي لبيانات كل نقطة مرصودة.
- معاملات الحساب التي تم الاعتماد عليها: زاوية القناع ، معدل الرصد ، ... الخ.
- نوع ونسخة برامج الحاسب الآلي المستخدمة في المشروع.
- معاملات ضبط الشبكة: نوع طريقة الضبط (نقطة واحدة مثبتة أو أكثر من نقطة)، عدد و أسماء نقاط التحكم معلومة الإحداثيات وقيم إحداثياتها المثبتة ، المرجع الذي تم اعتماده في الضبط ، المعاملات الإحصائية لنتائج الضبط.
- رسومات الشبكة و اليبس الأخطاء Error Ellipse والجدول التكراري Residuals Histogram للمتبقيات.
- النتائج النهائية لإحداثيات نقاط الشبكة: قيم الإحداثيات الجيوديسية ($\phi$, $\lambda$, h) و الكارتيزية (X, Y, Z) لكل نقطة مع قيم الانحراف المعياري لها ، قيم المسافات أو أطوال خطوط القواعد مع قيم الدقة النسبية لها بوحدات الجزء من المليون ppm.

# ملحق ٤
# مواقع مساحية علي شبكة الانترنت

**أولا: مواقع باللغة العربية:**

منتدى الهندسة المساحية:
http://surveying.ahlamontada.com/
ملتقي المهندسين العرب – قسم المساحة و الطرق:
http://www.arab-eng.org/vb/forumdisplay.php?f=50
نادي نظم المعلومات الجغرافية:
http://www.gisclub.net/vb/
رابطة خريجي المساحة و الخرائط و نظم المعلومات الجغرافية بالجامعات المصرية:
http://mesa7a.com/forum/index.php
ملتقي العاملين بالمساحة و نظم المعلومات الجغرافية:
http://www.awsgis.com/vb/index.php
مجموعة جيوماتكس المصرية:
http://geomatics.topgoo.net/
مجلة CAD, GIS, GPS:
http://www.cadmagazine.net/forums/index.php
منتديات مهندسي المساحة:
http://geo2007.myfreeforum.org/index.php
موقع م. عبد الله الأسمري بكلية الهندسة جامعة الملك سعود بالسعودية:
http://www.eng.alasmary.net/index.php
منتديات الهندسة نت:
http://www.alhandasa.net/forum/index.php
منتدى المهندس:
http://www.almohandes.org/vb/
منتديات داماس الهندسية:
http://www.damasgate.com/vb/f26/
الجغرافيون العرب:
http://www.arabgeographers.net/vb/
شبكة التخطيط العمراني:
http://www.araburban.net/
التقنية المدنية:
http://www.tkne.net/vb/f8
مكتبة الكتب الهندسية:
http://www.4shared.com/dir/6341529/f944b47f/sharing.html
منتديات مكشات – خيمة الجي بي إس:
http://www.mekshat.com/vb/forumdisplay.php?f=54

**ثانيا: مواقع باللغة الانجليزية:**

Earth Geopotential Model 2008 (EGM2008) Geoid:
http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/index.html

European Space Agency (ESA):
http://www.esa.int/export/esaSA/navigation.html

GPS Manufactures:

| | |
|---|---|
| Lieca: | http://www.leica.com |
| Magellan: | http://www.ashtech.com |
| Magellan: | http://www.magellangps.com |
| NovAtel: | http://www.novatel.ca |
| Pacific Crest: | http://www.paccrst.com |
| Sokkia: | http://www.sokkia.com |
| Topcon: | http://www.topconpositioning.com/ |
| Trimble: | http://www.trimble.com |

GPS World Magazine:
http://www.gpsworld.com

International GNSS Service (IGS):
http://igscb.jpl.nasa.gov/

IGS Publications:
http://igscb.jpl.nasa.gov/overview/pubs.html

Interactive GPS calandre:
http://www.rvdi.com/freebies/gpscalendar.html

Inter-Agency GPS Executive Board (IGEB):
http://www.igeb.gov/

International Association of Geodesy (IAG):
http://www.iag-aig.org/

International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG):
http://www.iugg.org/

International Terrestrial Reference Frames (ITRF):
http://itrf.ensg.ign.fr/

International Center for Global Earth Gravity Field Models (ICGEM):
http://icgem.gfz-potsdam.de/ICGEM/ICGEM.html

List of some GPS manufactures:
http://gauss.gge.unb.ca/manufact.htm

Massachusetts Institute of Technology (MIT) course on GPS:
http://ocw.mit.edu/OcwWeb/Earth--Atmospheric--and-Planetary-Sciences/12-540Principles-of-the-Global-Positioning-SystemSpring2003/CourseHome/index.htm

National Geodetic Survey of USA (NGS):
http://www.ngs.noaa.gov/

NGS's Geoid page:
http://www.ngs.noaa.gov/geoid/

NGS's Publications:
http://www.ngs.noaa.gov/PUBS_LIB/pub_index.html

New Zealand Surveying publications:
http://www.linz.govt.nz/rcs/linz/pub/web/root/core/SurveySystem/surveypublications/index.jsp

National Imagery and Mapping Agency of USA (NIMA) geodetic publications:
http://earth-info.nima.mil/GandG/pubs.html

OmniStar global DGPS commercial service:
http://www.omnistar.nl/

Publications of Prof. C. Tscherning:
http://www.gfy.ku.dk/~cct/

Publications of Prof. P. Vanicek:
http://gge.unb.ca/Personnel/Vanicek/

Publications of Prof. W. Featherstone:
http://www.cage.curtin.edu.au/~will/

Publications of Prof. P. Dana:
http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/

Technical geodetic reports at Ohio State University (OSU), USA:
http://geodeticscience.osu.edu/OSUReports.htm

Technical geodetic reports at Delft University, Netherlands:
http://enterprise.geo.tudelft.nl/mgp/index.php?module=Papers&type=user&func=main

Technical geodetic reports at Technical University Graz, Austria:
http://portal.tugraz.at/portal/page?_pageid=513,2702116&_dad=portal&_schema=PORTAL

Technical geodetic reports at New Brunswick University, Canada:
http://gge.unb.ca/Pubs/TechnicalReports.html

Technical geodetic reports at Croatian Geodetic Institute, Croatia:
http://www.cgi.hr/english/papers.htm

Technical geodetic reports at Calgary University, Canada:
http://www.geomatics.ucalgary.ca/node/58

USA Army Corps of Engineers' publications:
http://www.usace.army.mil/publications/new-pubs/newem's.htm

# نبذة عن المؤلف



د. جمعة محمد داود أستاذ المساحة و الجيوديسيا بمعهد بحوث المساحة بالمركز القومي لبحوث المياه بجمهورية مصر العربية. حصل علي درجة البكالوريوس عام ١٩٨٥ ودرجة دكتوراه الفلسفة عام ١٩٩٨ من قسم الهندسة المساحية بكلية الهندسة بشبرا جامعة بنها بمصر ، بينما حصل علي درجة الماجستير عام ١٩٩١ من قسم المساحة و العلوم الجيوديسية بجامعة ولاية أوهايو بالولايات المتحدة الأمريكية.

أشترك في تنفيذ العديد من المشروعات التطبيقية علي المستوي الوطني بجمهورية مصر العربية منذ عام ١٩٨٦ وخاصة في مجالات: المساحة الجيوديسية ، إنشاء شبكات التحكم بالجي بي إس ، الرفع المساحي ، إنشاء الخرائط الطبوغرافية و الهيدروجرافية ، نظم المعلومات الجغرافية ، مراقبة تحركات القشرة الأرضية ، شبكات الجاذبية الأرضية ، نمذجة الجيويد ، الدراسات البيئية.

حضر العديد من الدورات التدريبية في كلا من مصر و النمسا و سويسرا و الولايات المتحدة الأمريكية ، كما شارك بالتدريس في العديد من الجامعات و المعاهد الفنية في مصر و المملكة العربية السعودية.

نشر أكثر من ثلاثون بحثا علميا – منذ عام ١٩٩٢ - في عدة مجلات علمية و مؤتمرات دولية في مصر و كندا و السعودية و البحرين. أيضا حصل علي جائزة أفضل بحث في الهندسة المساحية في مصر لعدة سنوات ، بالإضافة لعدد آخر من الجوائز و شهادات التقدير.

متزوج وله ثلاثة أبناء: مصطفي و محمد و سلمي.